

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 936 162**

51 Int. Cl.:

G06Q 10/04 (2012.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2015 E 18215589 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2022 EP 3518126**

54 Título: **Módulo de celdas solares solapadas**

30 Prioridad:

27.05.2014 US 201462003223 P
 12.08.2014 US 201462036215 P
 11.08.2014 US 201462035624 P
 11.09.2014 US 201462048858 P
 15.10.2014 US 201462064260 P
 16.10.2014 US 201462064834 P
 27.08.2014 US 201462042615 P
 04.11.2014 US 201414532293
 07.11.2014 US 201414536486
 12.11.2014 US 201414539546
 17.11.2014 US 201414543580
 18.11.2014 US 201462081200 P
 19.11.2014 US 201414548081
 21.11.2014 US 201414550676
 31.10.2014 US 201414530405
 04.12.2014 US 201414560577
 10.12.2014 US 201414566278
 16.12.2014 US 201414565820
 16.12.2014 US 201414572206
 19.12.2014 US 201414577593
 30.12.2014 US 201414586025
 30.12.2014 US 201414585917
 12.01.2015 US 201514594439
 15.01.2015 US 201562103816 P
 26.01.2015 US 201514605695
 04.02.2015 US 201562111757 P
 06.02.2015 US 201562113250 P
 17.03.2015 US 201562134176 P
 31.03.2015 US 201514674983
 21.04.2015 US 201562150426 P
 21.11.2014 US 201462082904 P
 25.11.2014 US 201414552761

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.03.2023

73 Titular/es:

MAXEON SOLAR PTE. LTD. (100.0%)
8 Marina Boulevard 05-02, Marina Bay Financial
Centre
Singapore 018981, SG

72 Inventor/es:

MORAD, RATSON;
ALMOGY, GILAD;
SUEZ, ITAI;
HUMMEL, JEAN;
BECKETT, NATHAN;
LIN, YAFU;
GANNON, JOHN;
STARKEY, MICHAEL J.;
STUART, ROBERT;
LANCE, TAMIR y
MAYDAN, DAN

74 Agente/Representante:

MORENO NOGALES, Ángeles

ES 2 936 162 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Módulo de celdas solares solapadas

5 Campo de la invención

La invención se refiere, en general, a módulos de celdas solares en los que las celdas solares están dispuestas de manera solapada.

10 Antecedentes

Se necesitan fuentes de energía alternativas para satisfacer la creciente demanda mundial de energía. Los recursos de energía solar son suficientes en muchas regiones geográficas para satisfacer dichas demandas, en parte, mediante el suministro de energía eléctrica generada con celdas solares (por ejemplo, fotovoltaicas). El documento US 2012/318318 A1 se refiere a un módulo fotovoltaico con celdas solares de película fina que tienen un diodo de derivación compartido.

Sumario

20 En el presente documento se divulgan disposiciones de alta eficacia de celdas solares en un módulo de celdas solares, y procedimientos de fabricación de dichos módulos solares. Un módulo solar de acuerdo con la invención se define en la reivindicación 1. Otros modos de realización ventajosos se definen en las reivindicaciones dependientes.

25 En un aspecto, un módulo solar comprende una cadena conectada en serie de $N \geq 25$ celdas solares rectangulares o sustancialmente rectangulares que tienen de promedio un voltaje disruptivo superior a 10 voltios aproximadamente. Las celdas solares se agrupan en una o más superceldas, de las que cada una comprende dos o más de las celdas solares dispuestas en línea con lados largos de celdas solares contiguas superpuestos y unidos entre sí de forma conductora con un adhesivo eléctrica y térmicamente conductor. Ninguna celda solar individual o grupo de $< N$ celdas solares en la cadena de celdas solares está conectada eléctricamente de forma individual en paralelo con un diodo de derivación. El funcionamiento seguro y fiable del módulo solar se ve facilitado por la conducción eficaz del calor a lo largo de las superceldas a través de las porciones superpuestas unidas de celdas solares contiguas, lo que evita o reduce la formación de puntos críticos en las celdas solares con polarización inversa. Las superceldas se pueden encapsular en un polímero de olefina termoplástico intercalado entre láminas de vidrio frontal y posterior, por ejemplo, potenciando además la robustez del módulo con respecto al daño térmico. En algunas variaciones, N es ≥ 30 , ≥ 50 o ≥ 100 .

40 En otro aspecto, una supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio, de las que cada una comprende superficies frontal (lado que da al sol) y posterior rectangulares o sustancialmente rectangulares con conformaciones definidas por primer y segundo lados largos paralelos situados de manera opuesta y dos lados cortos situados de manera opuesta. Cada celda solar comprende un patrón de metalización de superficie frontal eléctricamente conductora que comprende al menos una placa de contacto de superficie frontal situada contigua al primer lado largo, y un patrón de metalización de superficie posterior eléctricamente conductora que comprende al menos una placa de contacto de superficie posterior situada contigua al segundo lado largo. Las celdas solares de silicio están dispuestas en línea, donde los primer y segundo lados largos de celdas solares de silicio contiguas se superponen y donde las placas de contacto de superficie frontal y de superficie posterior en celdas solares de silicio contiguas se superponen y se unen de forma conductora entre sí con un material de unión adhesivo conductor para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. El patrón de metalización de superficie frontal de cada celda solar de silicio comprende una barrera configurada para confinar sustancialmente el material de unión adhesivo conductor en la al menos una placa de contacto de superficie frontal antes del curado del material de unión adhesivo conductor durante la fabricación de la supercelda.

55 En otro aspecto, una supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio, de las que cada una comprende superficies frontal (lado que da al sol) y posterior rectangulares o sustancialmente rectangulares con conformaciones definidas por primer y segundo lados largos paralelos situados de manera opuesta y dos lados cortos situados de manera opuesta. Cada celda solar comprende un patrón de metalización de superficie frontal eléctricamente conductora que comprende al menos una placa de contacto de superficie frontal situada contigua al primer lado largo, y un patrón de metalización de superficie posterior eléctricamente conductora que comprende al menos una placa de contacto de superficie posterior situada contigua al segundo lado largo. Las celdas solares de silicio están dispuestas en línea, donde los primer y segundo lados largos de celdas solares de silicio contiguas se superponen y donde las placas de contacto de superficie frontal y de superficie posterior en celdas solares de silicio contiguas se superponen y se unen de forma conductora entre sí con un material de unión adhesivo conductor para conectar eléctricamente las

celdas solares de silicio en serie. El patrón de metalización de superficie posterior de cada celda solar de silicio comprende una barrera configurada para confinar sustancialmente el material de unión adhesivo conductor en la al menos una placa de contacto de superficie posterior antes del curado del material de unión adhesivo conductor durante la fabricación de la supercelda.

5 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de una cadena de celdas solares comprende cortar una o más obleas de silicio pseudocuadradas a lo largo de una pluralidad de líneas paralelas a un borde largo de cada oblea para formar una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares, teniendo cada una sustancialmente la misma longitud a lo largo de su eje largo. El procedimiento también comprende disponer las celdas solares de silicio rectangulares en línea con lados largos de celdas solares contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares en serie. La pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares comprende al menos una celda solar rectangular que tiene dos esquinas biseladas correspondientes a esquinas o a porciones de esquinas de la oblea pseudocuadrada, y donde cada una de las una o más celdas solares de silicio rectangulares carece de esquinas biseladas. La separación entre líneas paralelas a lo largo de las que se corta la oblea pseudocuadrada se selecciona para compensar las esquinas biseladas haciendo que la anchura sea perpendicular al eje largo de las celdas solares de silicio rectangulares que comprenden esquinas biseladas mayores que la anchura perpendicular al eje largo de las celdas solares de silicio rectangulares que carecen de esquinas biseladas, de modo que cada una de la pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares de la cadena de celdas solares tiene una superficie frontal de sustancialmente la misma área expuesta a la luz durante el funcionamiento de la cadena de celdas solares.

20 En otro aspecto, una supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio dispuestas en línea con porciones de extremo de celdas solares contiguas superpuestas y unidas entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares en serie. Al menos una de las celdas solares de silicio tiene esquinas biseladas que corresponden a esquinas o porciones de esquinas de una oblea de silicio pseudocuadrada de la que se cortó, al menos una de las celdas solares de silicio carece de esquinas biseladas y cada una de las celdas solares de silicio tiene una superficie frontal de sustancialmente la misma área expuesta a la luz durante el funcionamiento de la cadena de celdas solares.

30 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de dos o más superceldas comprende cortar una o más obleas de silicio pseudocuadradas a lo largo de una pluralidad de líneas paralelas a un borde largo de cada oblea para formar una primera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares que comprenden esquinas biseladas correspondientes a esquinas o porciones de esquinas de las obleas de silicio pseudocuadradas y una segunda pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares, cada una con una primera longitud que abarca toda la anchura de las obleas de silicio pseudocuadradas y que carece de esquinas biseladas. El procedimiento también comprende eliminar las esquinas biseladas de cada una de la primera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares para formar una tercera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares, cada una con una segunda longitud más corta que la primera longitud y que carece de esquinas biseladas. El procedimiento comprende además disponer la segunda pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en línea con lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente la segunda pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en serie para formar una cadena de celdas solares que tiene una anchura igual a la primera longitud, y disponer la tercera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en línea con lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente la tercera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en serie para formar una cadena de celdas solares que tiene una anchura igual a la segunda longitud.

45 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de dos o más superceldas comprende cortar una o más obleas de silicio pseudocuadradas a lo largo de una pluralidad de líneas paralelas a un borde largo de cada oblea para formar una primera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares que comprenden esquinas biseladas correspondientes a esquinas o porciones de esquinas de las obleas de silicio pseudocuadradas y una segunda pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares que carece de esquinas biseladas, disponer la primera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en línea con lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente la primera pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en serie, y disponer la segunda pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en línea con lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente la segunda pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en serie.

60 En otro aspecto, una supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio dispuestas en línea en una primera dirección con porciones de extremo de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidas entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie, y un interconector eléctrico flexible alargado con su eje largo orientado en paralelo a una segunda dirección perpendicular a la primera dirección, unido de forma conductora a una superficie frontal o posterior de un extremo de una de las celdas solares de silicio en una

5 pluralidad de localizaciones discretas dispuestas a lo largo de la segunda dirección, que discurre al menos por toda la anchura de la celda solar de extremo en la segunda dirección, que tiene un grosor de conductor inferior o igual a 100 micrómetros aproximadamente medidos de manera perpendicular a la superficie frontal o trasera de la celda solar de silicio de extremo, que proporciona una resistencia al flujo de corriente en la segunda dirección inferior o igual a 0,012 ohmios aproximadamente, y configurado para proporcionar flexibilidad acomodando la expansión diferencial en la segunda dirección entre la celda solar de silicio de extremo y el interconector para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 85 °C aproximadamente.

10 El interconector eléctrico flexible puede tener un grosor de conductor inferior o igual a 30 micrómetros aproximadamente, medido de manera perpendicular a las superficies frontal y trasera de la celda solar de silicio de extremo, por ejemplo. El interconector eléctrico flexible se puede extender más allá de la supercelda en la segunda dirección para proporcionar una interconexión eléctrica con al menos una segunda supercelda situada paralela y contigua a la supercelda en un módulo solar. Además o de forma alternativa, el interconector eléctrico flexible se puede extender más allá de la supercelda en la primera dirección para proporcionar una interconexión eléctrica a una segunda supercelda situada paralela y en línea con la supercelda en un módulo solar.

15 En otro aspecto, un módulo solar comprende una pluralidad de superceldas dispuestas en dos o más filas paralelas que abarcan una anchura del módulo para formar una superficie frontal del módulo. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio dispuestas en línea con porciones de extremo de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidas entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. Al menos un extremo de una primera supercelda contigua a un borde del módulo en una primera fila está conectado eléctricamente a un extremo de una segunda supercelda contigua al mismo borde del módulo en una segunda fila por medio de un interconector eléctrico flexible que está unido a la superficie frontal de la primera supercelda en una pluralidad de localizaciones discretas con un material de unión adhesivo eléctricamente conductor, discurre paralelo al borde del módulo y al menos una porción del mismo se pliega alrededor del extremo de la primera supercelda y queda oculto a la vista desde la parte frontal del módulo.

20 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de una supercelda comprende trazar con láser una o más líneas de trazo en cada una de una o más celdas solares de silicio para definir una pluralidad de regiones rectangulares en las celdas solares de silicio, aplicar un material de unión adhesivo eléctricamente conductor a las una o más celdas solares de silicio trazadas en una o más localizaciones contiguas a un lado largo de cada región rectangular, separar las celdas solares de silicio a lo largo de las líneas de trazo para proporcionar una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares, de las que cada una comprende una porción del material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesta en su superficie frontal contigua a un lado largo, disponer la pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en línea con lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas de manera solapada con una porción del material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesta en medio, y curar el material de unión eléctricamente conductor, uniendo de este modo entre sí celdas solares de silicio rectangulares superpuestas y contiguas y conectándolas eléctricamente en serie.

30 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de una supercelda comprende trazar con láser una o más líneas de trazo en cada una de una o más celdas solares de silicio para definir una pluralidad de regiones rectangulares en las celdas solares de silicio, aplicar un material de unión adhesivo eléctricamente conductor a porciones de las superficies superiores de las una o más celdas solares de silicio, aplicar vacío entre las superficies inferiores de las una o más celdas solares de silicio y una superficie de soporte curva para flexionar las una o más celdas solares de silicio contra la superficie de soporte curva y, de este modo, escindir las una o más celdas solares de silicio a lo largo de las líneas de trazo para proporcionar una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares, de las que cada una comprende una porción del material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesta en su superficie frontal contigua a un lado largo, disponer la pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares en línea con lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas de manera solapada con una porción del material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesta en medio, y curar el material de unión eléctricamente conductor, uniendo de este modo entre sí celdas solares de silicio rectangulares superpuestas y contiguas y conectándolas eléctricamente en serie.

40 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de un módulo solar comprende ensamblar una pluralidad de superceldas, comprendiendo cada supercelda una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares dispuestas en línea con porciones de extremo de lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas de manera solapada. El procedimiento también comprende curar un material de unión eléctricamente conductor dispuesto entre las porciones de extremo superpuestas de celdas solares de silicio rectangulares contiguas aplicando calor y presión a las superceldas, uniendo de este modo entre sí celdas solares de silicio rectangulares superpuestas y contiguas y conectándolas eléctricamente en serie. El procedimiento también comprende disponer e interconectar las superceldas en una configuración de módulo solar deseada en una pila de capas que comprende un encapsulante, y

aplicar calor y presión a la pila de capas para formar una estructura laminada.

5 Algunas variaciones del procedimiento comprenden curar o parcialmente curar el material de unión eléctricamente conductor aplicando calor y presión a las superceldas antes de aplicar calor y presión a la pila de capas para formar la estructura laminada, formando de este modo superceldas curadas o parcialmente curadas como un producto intermedio antes de formar la estructura laminada. En algunas variaciones, a medida que cada celda solar de silicio rectangular adicional se añade a una supercelda durante el ensamblaje de la supercelda, el material de unión adhesivo eléctricamente conductor entre la celda solar recién añadida y su celda solar superpuesta contigua se cura o parcialmente se cura antes de que se añada cualquier otra celda solar de silicio rectangular a la supercelda. De forma alternativa, algunas variaciones comprenden curar o parcialmente curar todo el material de unión eléctricamente conductor en una supercelda en la misma etapa.

10 Si las superceldas se forman como productos intermedios parcialmente curados, el procedimiento puede comprender completar el curado del material de unión eléctricamente conductor mientras se aplica calor y presión a la pila de capas para formar la estructura laminada.

15 Algunas variaciones del procedimiento comprenden curar el material de unión eléctricamente conductor mientras se aplica calor y presión a la pila de capas para formar una estructura laminada, sin formar superceldas curadas o parcialmente curadas como producto intermedio antes de formar la estructura laminada.

20 El procedimiento puede comprender cortar una o más celdas solares de silicio de tamaño estándar en conformaciones rectangulares de área más pequeña para proporcionar las celdas solares de silicio rectangulares. El material de unión adhesivo eléctricamente conductor se puede aplicar a las una o más celdas solares de silicio antes de cortar las una o más celdas solares de silicio para proporcionar a las celdas solares de silicio rectangulares un material de unión adhesivo eléctricamente conductor aplicado previamente. De forma alternativa, el material de unión adhesivo eléctricamente conductor se puede aplicar a las celdas solares de silicio rectangulares después de cortar las una o más celdas solares de silicio para proporcionar las celdas solares de silicio rectangulares.

25 En un aspecto, un módulo solar comprende una pluralidad de superceldas dispuestas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos de forma conductora directamente entre sí para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. El panel solar también comprende una primera placa de contacto de toma oculta localizada en una superficie posterior de una primera celda solar localizada en una posición intermedia a lo largo de una primera de las superceldas, y un primer interconector eléctrico unido de forma conductora a la primera placa de contacto de toma oculta. El primer interconector eléctrico comprende un rasgo característico de alivio de tensión que acomoda la expansión térmica diferencial entre el interconector y la celda solar de silicio a la que está unido. El término "rasgo característico de alivio de tensión", como se usa en el presente documento con respecto a un interconector, se puede referir a un rasgo característico geométrico tal como, por ejemplo, un acodamiento, bucle o ranura, al grosor (por ejemplo, muy delgado) del interconector y/o a la ductilidad del interconector. Por ejemplo, el rasgo característico de alivio de tensión puede ser que el interconector esté formado a partir de una banda de cobre muy delgada.

30 El módulo solar puede comprender una segunda placa de contacto de toma oculta localizada en la superficie posterior de una segunda celda solar localizada de forma contigua a la primera celda solar en una posición intermedia a lo largo de una segunda de las superceldas en una fila de superceldas contigua, con la primera placa de contacto de toma oculta conectada eléctricamente a la segunda placa de contacto de toma oculta a través del primer interconector eléctrico. En dichos casos, el primer interconector eléctrico se puede extender a través de un hueco entre la primera supercelda y la segunda supercelda y unirse de forma conductora a la segunda placa de contacto de toma oculta. De forma alternativa, la conexión eléctrica entre las primera y segunda placas de contacto de toma oculta puede incluir otro interconector eléctrico unido de forma conductora a la segunda placa de contacto de toma oculta y conectado eléctricamente (por ejemplo, unido de forma conductora) al primer interconector eléctrico. Cualquier esquema de interconexión se puede extender opcionalmente a través de filas adicionales de superceldas. Por ejemplo, cualquier esquema de interconexión se puede extender opcionalmente por toda la anchura del módulo para interconectar una celda solar en cada fila por medio de las placas de contacto de toma oculta.

35 El módulo solar puede comprender una segunda placa de contacto de toma oculta localizada en la superficie posterior de una segunda celda solar localizada en otra posición intermedia a lo largo de la primera de las superceldas, un segundo interconector eléctrico unido de forma conductora a la segunda placa de contacto de toma oculta, y un diodo de derivación conectado eléctricamente mediante los primer y segundo interconectores eléctricos en paralelo con las celdas solares localizadas entre la primera placa de contacto de toma oculta y la segunda placa de contacto de toma oculta.

5 En cualquiera de las variaciones anteriores, la primera placa de contacto de toma oculta puede ser una de una pluralidad de placas de contacto de toma oculta dispuestas en la superficie posterior de la primera celda solar en una fila que discurre paralela al eje largo de la primera celda solar, con el primer interconector eléctrico unido de forma conductora a cada uno de la pluralidad de contactos ocultos y abarcando sustancialmente la longitud de la primera celda solar a lo largo del eje largo. Además o de forma alternativa, la primera placa de contacto oculto puede ser una de una pluralidad de placas de contacto de toma oculta dispuestas en la superficie posterior de la primera celda solar en una fila que discurre perpendicular al eje largo de la primera celda solar. En el segundo caso, la fila de placas de contacto de toma oculta puede estar localizada de forma contigua a un borde corto de la primera celda solar, por ejemplo. La primera placa de contacto oculto puede ser una placa de una pluralidad de placas de contacto de toma oculta dispuestas en una matriz bidimensional de la superficie posterior de la primera celda solar.

15 De forma alternativa, en cualquiera de las variaciones anteriores, la primera placa de contacto de toma oculta puede estar localizada de forma contigua a un lado corto de la superficie posterior de la primera celda solar, sin que el primer interconector eléctrico se extienda sustancialmente hacia adentro desde la placa de contacto de toma oculta a lo largo del eje largo de la celda solar, y el patrón de metalización de superficie posterior en la primera celda solar proporciona una ruta conductora hacia el interconector que tiene preferentemente una resistencia de lámina inferior o igual a 5 ohmios por cuadrado aproximadamente, o inferior o igual a 2,5 ohmios por cuadrado aproximadamente. En dichos casos, el primer interconector puede comprender, por ejemplo, dos lengüetas situadas en lados opuestos del rasgo característico de alivio de tensión, con una de las lengüetas unida de forma conductora a la primera placa de contacto de toma oculta. Las dos lengüetas pueden tener diferentes longitudes.

25 En cualquiera de las variaciones anteriores, el primer interconector eléctrico puede comprender rasgos característicos de alineación que identifican una alineación deseada con la primera placa de contacto de toma oculta, o que identifican una alineación deseada con un borde de la primera supercelda, o que identifican una alineación deseada con la primera placa de contacto de toma oculta y una alineación deseada con un borde de la primera supercelda.

30 En otro aspecto, un módulo solar comprende una lámina frontal de vidrio, una lámina posterior y una pluralidad de superceldas dispuestas en dos o más filas paralelas entre la lámina frontal de vidrio y la lámina posterior. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos de forma conductora y flexible directamente entre sí para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. Un primer interconector eléctrico flexible está unido de forma conductora y rígida a una primera de las superceldas. Las uniones conductoras flexibles entre celdas solares superpuestas proporcionan resiliencia mecánica a las superceldas, que acomodan una discrepancia en la expansión térmica entre las superceldas y la lámina frontal de vidrio en una dirección paralela a las filas para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 100 °C aproximadamente sin dañar el módulo solar. La unión conductora rígida entre la primera supercelda y el primer interconector eléctrico flexible obliga al primer interconector eléctrico flexible a acomodar una discrepancia en la expansión térmica entre la primera supercelda y el primer interconector flexible en una dirección perpendicular a las filas para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 180 °C aproximadamente sin dañar el módulo solar.

45 Las uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas dentro de una supercelda pueden utilizar un adhesivo conductor diferente al de las uniones conductoras entre la supercelda y el interconector eléctrico flexible. La unión conductora en un lado de al menos una celda solar dentro de una supercelda puede utilizar un adhesivo conductor diferente que la unión conductora en su otro lado. El adhesivo conductor que forma la unión rígida entre la supercelda y el interconector eléctrico flexible puede ser una soldadura, por ejemplo. En algunas variaciones, las uniones conductoras entre celdas solares superpuestas dentro de una supercelda se forman con un adhesivo conductor sin soldadura, y la unión conductora entre la supercelda y el interconector eléctrico flexible se forma con soldadura.

50 En algunas variaciones que utilizan dos adhesivos conductores diferentes como se acaba de describir, ambos adhesivos conductores se pueden curar en la misma etapa de procesamiento (por ejemplo, a la misma temperatura, a la misma presión y/o en el mismo intervalo de tiempo).

55 Las uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas pueden acomodar un movimiento diferencial entre cada celda y la lámina frontal de vidrio de más de o igual a 15 micrómetros aproximadamente, por ejemplo.

60 Las uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas pueden tener un grosor perpendicular a las celdas solares inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente y una conductividad térmica perpendicular a las celdas solares superior o igual a 1,5 W/(metro-K) aproximadamente, por ejemplo.

El primer interconector eléctrico flexible puede resistir una expansión o contracción térmicas del primer interconector flexible superior o igual a 40 micrómetros aproximadamente, por ejemplo.

5 La porción del primer interconector eléctrico flexible unida de forma conductora a la supercelda puede ser similar a una banda, formada a partir de cobre, y tener un grosor perpendicular a la superficie de la celda solar a la que está unida inferior o igual a 30 micrómetros aproximadamente o inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente, por ejemplo. El primer interconector eléctrico flexible puede comprender una porción de cobre conductora solidaria no unida a la celda solar y que proporciona una mayor conductividad que la porción del primer interconector eléctrico flexible que está unida de forma conductora a la celda solar. El primer interconector eléctrico flexible puede tener un grosor perpendicular a la superficie de la celda solar a la que está unido inferior o igual a 30 micrómetros aproximadamente o inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente, y una anchura superior o igual a 10 mm aproximadamente en el plano de la superficie de la celda solar en una dirección perpendicular al flujo de corriente a través del interconector. El primer interconector eléctrico flexible puede estar unido de forma conductora a un conductor próximo a la celda solar, que proporciona una mayor conductividad que el primer interconector eléctrico.

15 En otro aspecto, un módulo solar comprende una pluralidad de superceldas dispuestas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos de forma conductora directamente entre sí para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. Una placa de contacto de toma oculta que no conduce una corriente significativa durante el funcionamiento normal está localizada en la superficie posterior de una primera celda solar, que está localizada en una posición intermedia a lo largo de una primera de las superceldas en una primera de las filas de superceldas. La placa de contacto de toma oculta está conectada eléctricamente en paralelo a al menos una segunda celda solar en una segunda de las filas de superceldas.

25 El módulo solar puede comprender un interconector eléctrico unido a la placa de contacto de toma oculta y que interconecta eléctricamente la placa de contacto de toma oculta a la segunda celda solar. En algunas variaciones, el interconector eléctrico no abarca sustancialmente la longitud de la primera celda solar y un patrón de metalización de superficie posterior en la primera celda solar proporciona una ruta de conductividad a la placa de contacto de toma oculta, que tiene una resistencia de lámina inferior o igual a 5 ohmios por cuadrado aproximadamente.

30 La pluralidad de superceldas se puede disponer en tres o más filas paralelas que abarcan la anchura del módulo solar perpendicular a las filas, y la placa de contacto de toma oculta se conecta eléctricamente a una placa de contacto oculto en al menos una celda solar en cada una de las filas de superceldas para conectar eléctricamente todas las filas de superceldas en paralelo. En dichas variaciones, el módulo solar puede comprender al menos una conexión de bus a al menos una de las placas de contacto de toma oculta, o a un interconector entre placas de contacto de toma oculta, que se conecta a un diodo de derivación u otro dispositivo electrónico.

35 El módulo solar puede comprender un interconector eléctrico flexible unido de forma conductora a la placa de contacto de toma oculta para conectarla eléctricamente a la segunda celda solar. La porción del interconector eléctrico flexible unida de forma conductora a la placa de contacto de toma oculta puede ser, por ejemplo, similar a una banda, formada a partir de cobre y tener un grosor perpendicular a la superficie de la celda solar a la que está unida inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente. La unión conductora entre la placa de contacto de toma oculta y el interconector eléctrico flexible puede obligar al interconector eléctrico flexible a resistir una discrepancia en la expansión térmica entre la primera celda solar y el interconector flexible, y a acomodar un movimiento relativo entre la primera celda solar y la segunda celda solar resultante de la expansión térmica, para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 180 °C aproximadamente sin dañar el módulo solar.

40 En algunas variaciones, durante el funcionamiento del módulo solar, la primera placa de contacto oculto puede conducir una corriente mayor que la corriente generada en una cualquiera de las celdas solares.

50 Típicamente, la superficie frontal de la primera celda solar que cubre la primera placa de contacto de toma oculta no está ocupada por placas de contacto ni por ningún otro rasgo característico de interconexión. Típicamente, cualquier área de la superficie frontal de la primera celda solar que no está superpuesta por una porción de una celda solar contigua en la primera supercelda no está ocupada por placas de contacto ni por ningún otro rasgo característico de interconexión.

55 En algunas variaciones, en cada supercelda, la mayoría de las celdas no tienen placas de contacto de toma oculta. En dichas variaciones, las celdas que tienen placas de contacto de toma oculta pueden tener un área de captación de luz más grande que las celdas que no tienen placas de contacto de toma oculta.

60 En otro aspecto, un módulo solar comprende una lámina frontal de vidrio, una lámina posterior y una pluralidad de

- 5 superceldas dispuestas en dos o más filas paralelas entre la lámina frontal de vidrio y la lámina posterior. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos de forma conductora y flexible directamente entre sí para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. Un primer interconector eléctrico flexible está unido de forma conductora y rígida a una primera de las superceldas. Las uniones conductoras flexibles entre celdas solares superpuestas se forman a partir de un primer adhesivo conductor y tienen un módulo de cizalladura inferior o igual a 800 megapascales aproximadamente. La unión conductora rígida entre la primera supercelda y el primer interconector eléctrico flexible se forma a partir de un segundo adhesivo conductor y tiene un módulo de cizalladura de más de o igual a 2000 megapascales aproximadamente.
- 10 El primer adhesivo conductor puede tener una temperatura de transición vítrea inferior o igual a 0 °C aproximadamente, por ejemplo.
- 15 En algunas variaciones, el primer adhesivo conductor y el segundo adhesivo conductor son diferentes, y ambos adhesivos conductores se pueden curar en la misma etapa de procesamiento.
- 20 En algunas variaciones, las uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas tienen un grosor perpendicular a las celdas solares inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente y una conductividad térmica perpendicular a las celdas solares superior o igual a 1,5 W/(metro-K) aproximadamente.
- 25 En un aspecto, un módulo solar comprende un número N superior o igual a aproximadamente 150 celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas como una pluralidad de superceldas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. Las superceldas están conectadas eléctricamente para proporcionar un alto voltaje de corriente continua de más de o igual a 90 voltios aproximadamente.
- 30 En una variación, el módulo solar comprende uno o más interconectores eléctricos flexibles dispuestos para conectar eléctricamente la pluralidad de superceldas en serie para proporcionar el alto voltaje de corriente continua. El módulo solar puede comprender componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo que incluyen un inversor que convierte el alto voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna. Los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden detectar el alto voltaje de corriente continua y pueden hacer funcionar el módulo en un punto óptimo de potencia de corriente-voltaje.
- 35 En otra variación, el módulo solar comprende componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo conectados eléctricamente a pares individuales de filas contiguas de superceldas conectadas en serie, que conectan eléctricamente uno o más de los pares de filas de superceldas en serie para proporcionar el alto voltaje de corriente continua, y que comprenden un inversor que convierte el alto voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden detectar el voltaje a través de cada par individual de filas de superceldas y pueden hacer funcionar cada par individual de filas de superceldas en un punto óptimo de potencia de corriente-voltaje. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden hacer que un par individual de filas de superceldas se desconecte de un circuito que proporciona el alto voltaje de corriente continua si el voltaje a través del par de filas está por debajo de un valor umbral.
- 40 En otra variación, el módulo solar comprende componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo conectados eléctricamente a cada fila individual de superceldas, que conectan eléctricamente dos o más de las filas de superceldas en serie para proporcionar el alto voltaje de corriente continua, y que comprenden un inversor que convierte el alto voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden detectar el voltaje a través de cada fila individual de superceldas y pueden hacer funcionar cada fila individual de superceldas en un punto óptimo de potencia de corriente-voltaje. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden hacer que una fila individual de superceldas se desconecte de un circuito que proporciona el alto voltaje de corriente continua si el voltaje a través de la fila de superceldas está por debajo de un valor umbral.
- 45 En otra variación, el módulo solar comprende componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo conectados eléctricamente a cada supercelda individual, que conectan eléctricamente dos o más de las superceldas en serie para proporcionar el alto voltaje de corriente continua, y que comprenden un inversor que convierte el alto voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden detectar el voltaje a través de cada supercelda individual y pueden hacer funcionar cada supercelda individual en un punto óptimo de potencia de corriente-voltaje. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden hacer que una supercelda individual se desconecte de un circuito que proporciona el alto voltaje de
- 50
- 55
- 60

corriente continua si el voltaje a través de la supercelda está por debajo de un valor umbral.

5 En otra variación, cada supercelda del módulo está segmentada eléctricamente en una pluralidad de segmentos mediante tomas ocultas. El módulo solar comprende componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo conectados eléctricamente a cada segmento de cada supercelda a través de las tomas ocultas, que conectan eléctricamente dos o más segmentos en serie para proporcionar el alto voltaje de corriente continua, y que comprenden un inversor que convierte el alto voltaje de corriente continua en un voltaje de corriente alterna. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden detectar el voltaje a través de cada segmento individual de cada supercelda y pueden hacer funcionar cada segmento individual en un punto óptimo de potencia de corriente-voltaje. Opcionalmente, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden hacer que un segmento individual se desconecte de un circuito que proporciona el alto voltaje de corriente continua si el voltaje a través del segmento está por debajo de un valor umbral.

10 En cualquiera de las variaciones anteriores, el punto óptimo de potencia de corriente-voltaje puede ser un punto máximo de potencia de corriente-voltaje.

15 En cualquiera de las variaciones anteriores, los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden carecer de un componente reforzador de corriente continua a corriente continua.

20 En cualquiera de las variaciones anteriores, N puede ser superior o igual a 200 aproximadamente, superior o igual a 250 aproximadamente, superior o igual a 300 aproximadamente, superior o igual a 350 aproximadamente, superior o igual a 400 aproximadamente, superior o igual a 450 aproximadamente, superior o igual a 500 aproximadamente, superior o igual a 550 aproximadamente, superior o igual a 600 aproximadamente, superior o igual a 650 aproximadamente o superior o igual a 700 aproximadamente.

25 En cualquiera de las variaciones anteriores, el alto voltaje de corriente continua puede ser superior o igual a 120 voltios aproximadamente, superior o igual a 180 voltios aproximadamente, superior o igual a 240 voltios aproximadamente, superior o igual a 300 voltios aproximadamente, superior o igual a 360 voltios aproximadamente, superior o igual a 420 voltios aproximadamente, superior o igual a 480 voltios aproximadamente, superior o igual a 540 voltios aproximadamente, o superior o igual a 600 voltios aproximadamente.

30 En otro aspecto, un sistema solar fotovoltaico comprende dos o más módulos solares conectados eléctricamente en paralelo y un inversor. Cada módulo solar comprende un número N superior o igual a aproximadamente 150 celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas como una pluralidad de superceldas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda en cada módulo comprende dos o más de las celdas solares de silicio en ese módulo dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. En cada módulo, las superceldas están conectadas eléctricamente para proporcionar una salida de módulo de corriente continua de alto voltaje de más de o igual a 90 voltios aproximadamente. El inversor está conectado eléctricamente a los dos o más módulos solares para convertir su salida de corriente continua de alto voltaje en una de corriente alterna.

35 Cada módulo solar puede comprender uno o más interconectores eléctricos flexibles dispuestos para conectar eléctricamente las superceldas en el módulo solar en serie para proporcionar la salida de corriente continua de alto voltaje del módulo solar.

45 El sistema solar fotovoltaico puede comprender al menos un tercer módulo solar conectado eléctricamente en serie con un primer módulo de los dos o más módulos solares que están conectados eléctricamente en paralelo. En dichos casos, el tercer módulo solar puede comprender un número N' superior o igual a aproximadamente 150 celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas como una pluralidad de superceldas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda en el tercer módulo solar comprende dos o más de las celdas solares de silicio en ese módulo dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. En el tercer módulo solar, las superceldas están conectadas eléctricamente para proporcionar una salida de módulo de corriente continua de alto voltaje de más de o igual a 90 voltios aproximadamente.

50 Las variaciones que comprenden un tercer módulo solar conectado eléctricamente en serie con un primer módulo de los dos o más módulos solares, como se acaba de describir, también pueden comprender al menos un cuarto módulo solar conectado eléctricamente en serie con un segundo módulo de los dos o más módulos solares que están conectados eléctricamente en paralelo. El cuarto módulo solar puede comprender un número N'' superior o igual a aproximadamente 150 celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas como una pluralidad de superceldas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda del cuarto módulo solar comprende dos o

más de las celdas solares de silicio en ese módulo dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. En el cuarto módulo solar, las superceldas están conectadas eléctricamente para proporcionar una salida de módulo de corriente continua de alto voltaje de más de o igual a 90 voltios aproximadamente.

5 El sistema solar fotovoltaico puede comprender fusibles y/o diodos de bloqueo dispuestos para evitar que un cortocircuito que se produzca en uno cualquiera de los módulos solares disipe la potencia generada en los otros módulos solares.

10 El sistema solar fotovoltaico puede comprender buses positivos y negativos a los que se conectan eléctricamente en paralelo los dos o más módulos solares y a los que se conecta eléctricamente el inversor. De forma alternativa, el sistema solar fotovoltaico puede comprender una caja combinadora a la que se conectan eléctricamente los dos o más módulos solares mediante un conductor separado. La caja combinadora conecta eléctricamente los módulos solares en paralelo y, opcionalmente, puede comprender fusibles y/o diodos de bloqueo dispuestos para evitar que un cortocircuito que se produzca en uno cualquiera de los módulos solares disipe la potencia generada en los otros módulos solares.

15 El inversor se puede configurar para hacer funcionar los módulos solares a un voltaje de corriente continua por encima de un valor mínimo establecido para evitar la polarización inversa de un módulo solar.

20 El inversor se puede configurar para reconocer una condición de polarización inversa que se produce en uno o más de los módulos solares y para hacer funcionar los módulos solares a un voltaje que evite la condición de polarización inversa.

25 El sistema solar fotovoltaico se puede situar en una azotea.

30 En cualquiera de las variaciones anteriores, N, N' y N'' pueden ser superiores o iguales a 200 aproximadamente, superiores o iguales a 250 aproximadamente, superiores o iguales a 300 aproximadamente, superiores o iguales a 350 aproximadamente, superiores o iguales a 400 aproximadamente, superiores o iguales a 450 aproximadamente, superiores o iguales a 500 aproximadamente, superiores o iguales a 550 aproximadamente, superiores o iguales a 600 aproximadamente, superiores o iguales a 650 aproximadamente o superiores o iguales a 700 aproximadamente. N, N' y N'' pueden tener valores iguales o diferentes.

35 En cualquiera de las variaciones anteriores, el alto voltaje de corriente continua proporcionado por un módulo solar puede ser superior o igual a 120 voltios aproximadamente, superior o igual a 180 voltios aproximadamente, superior o igual a 240 voltios aproximadamente, superior o igual a 300 voltios aproximadamente, superior o igual a 360 voltios aproximadamente, superior o igual a 420 voltios aproximadamente, superior o igual a 480 voltios aproximadamente, superior o igual a 540 voltios aproximadamente o superior o igual a 600 voltios aproximadamente.

40 En otro aspecto, un sistema solar fotovoltaico comprende un primer módulo solar que comprende un número N superior o igual a aproximadamente 150 celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas como una pluralidad de superceldas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. El sistema también comprende un inversor. El inversor puede ser, por ejemplo, un microinversor integrado con el primer módulo solar. Las superceldas del primer módulo solar están conectadas eléctricamente para proporcionar un alto voltaje de corriente continua de más de o igual a 90 voltios aproximadamente al inversor, que convierte la corriente continua en corriente alterna.

45 El primer módulo solar puede comprender uno o más interconectores eléctricos flexibles dispuestos para conectar eléctricamente las superceldas en el módulo solar en serie para proporcionar la salida de corriente continua de alto voltaje del módulo solar.

50 El sistema solar fotovoltaico puede comprender al menos un segundo módulo solar conectado eléctricamente en serie con el primer módulo solar. El segundo módulo solar puede comprender un número N' superior o igual a aproximadamente 150 celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas como una pluralidad de superceldas en dos o más filas paralelas. Cada supercelda del segundo módulo solar comprende dos o más de las celdas solares de silicio en ese módulo dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en serie. En el segundo módulo solar, las superceldas están conectadas eléctricamente para proporcionar una salida de módulo de corriente continua de alto voltaje de más de o igual a 90 voltios aproximadamente.

El inversor (por ejemplo, un microinversor) puede carecer de un componente reforzador de corriente continua a corriente continua.

5 En cualquiera de las variaciones anteriores, N y N' pueden ser superiores o iguales a 200 aproximadamente, superiores o iguales a 250 aproximadamente, superiores o iguales a 300 aproximadamente, superiores o iguales a 350 aproximadamente, superiores o iguales a 400 aproximadamente, superiores o iguales a 450 aproximadamente, superiores o iguales a 500 aproximadamente, superiores o iguales a 550 aproximadamente, superiores o iguales a 600 aproximadamente, superiores o iguales a 650 aproximadamente o superiores o iguales a 700 aproximadamente. N y
10 N' pueden tener valores iguales o diferentes.

En cualquiera de las variaciones anteriores, el alto voltaje de corriente continua proporcionado por un módulo solar puede ser superior o igual a 120 voltios aproximadamente, superior o igual a 180 voltios aproximadamente, superior o igual a 240 voltios aproximadamente, superior o igual a 300 voltios aproximadamente, superior o igual a 360 voltios aproximadamente, superior o igual a 420 voltios aproximadamente, superior o igual a 480 voltios aproximadamente, superior o igual a 540 voltios aproximadamente o superior o igual a 600 voltios aproximadamente.

En otro aspecto, un módulo solar comprende un número N superior o igual a aproximadamente 250 celdas solares de silicio rectangulares o sustancialmente rectangulares dispuestas como una pluralidad de superceldas conectadas en serie en dos o más filas paralelas. Cada supercelda comprende una pluralidad de celdas solares de silicio dispuestas en línea con lados largos de celdas solares de silicio contiguas superpuestas y unidos de forma conductora directamente entre sí con un adhesivo eléctrica y térmicamente conductor para conectar eléctricamente las celdas solares de silicio en la supercelda en serie. El módulo solar comprende menos de un diodo de derivación por cada 25 celdas solares. El adhesivo eléctrica y térmicamente conductor forma uniones entre celdas solares contiguas que tienen un grosor perpendicular a las celdas solares inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente y una conductividad térmica perpendicular a las celdas solares superior o igual a 1,5 W/(metro-K) aproximadamente.

Las superceldas se pueden encapsular en una capa de olefina termoplástica entre las láminas frontal y posterior. Las superceldas y su encapsulante se pueden intercalar entre las láminas de vidrio frontal y posterior.

El módulo solar puede comprender, por ejemplo, menos de un diodo de derivación por cada 30 celdas solares, o menos de un diodo de derivación por cada 50 celdas solares, o menos de un diodo de derivación por cada 100 celdas solares. El módulo solar puede no comprender, por ejemplo, ningún diodo de derivación, o puede comprender solo un único diodo de derivación, o no más de tres diodos de derivación, o no más de seis diodos de derivación, o no más de diez diodos de derivación.

Las uniones conductoras entre celdas solares superpuestas pueden proporcionar, opcionalmente, resiliencia mecánica a las superceldas, que acomodan una discrepancia en la expansión térmica entre las superceldas y la lámina frontal de vidrio en una dirección paralela a las filas para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 100 °C aproximadamente sin dañar el módulo solar.

En cualquiera de las variaciones anteriores, N puede ser superior o igual a 300 aproximadamente, superior o igual a 350 aproximadamente, superior o igual a 400 aproximadamente, superior o igual a 450 aproximadamente, superior o igual a 500 aproximadamente, superior o igual a 550 aproximadamente, superior o igual a 600 aproximadamente, superior o igual a 650 aproximadamente o superior o igual a 700 aproximadamente.

En cualquiera de las variaciones anteriores, las superceldas se pueden conectar eléctricamente para proporcionar un alto voltaje de corriente continua de más de o igual a 120 voltios aproximadamente, superior o igual a 180 voltios aproximadamente, superior o igual a 240 voltios aproximadamente, superior o igual a 300 voltios aproximadamente, superior o igual a 360 voltios aproximadamente, superior o igual a 420 voltios aproximadamente, superior o igual a 480 voltios aproximadamente, superior o igual a 540 voltios aproximadamente o superior o igual a 600 voltios aproximadamente.

Un sistema de energía solar puede comprender el módulo solar de cualquiera de las variaciones anteriores y un inversor (por ejemplo, un microinversor) conectado eléctricamente al módulo solar y configurado para convertir una salida de CC del módulo solar para proporcionar una salida de CA. El inversor puede carecer de un componente reforzador de CC a CC. El inversor se puede configurar para hacer funcionar el módulo solar a un voltaje de corriente continua por encima de un valor mínimo establecido para evitar la polarización inversa de una celda solar. El valor de voltaje mínimo puede depender de la temperatura. El inversor se puede configurar para reconocer una condición de polarización inversa y hacer funcionar el módulo solar a un voltaje que evite la condición de polarización inversa. Por ejemplo, el inversor se puede configurar para hacer funcionar el módulo solar en una región de máximo local de la

curva de potencia de voltaje-corriente del módulo solar para evitar la condición de polarización inversa.

Esta memoria descriptiva divulga herramientas de escisión de celdas solares y procedimientos de escisión de celdas solares.

5 En un aspecto, un procedimiento de fabricación de celdas solares comprende hacer avanzar una oblea de celda solar a lo largo de una superficie curva y aplicar vacío entre la superficie curva y una superficie inferior de la oblea de celda solar para flexionar la oblea de celda solar contra la superficie curva y, de este modo, escindir la oblea de celda solar a lo largo de una o más líneas de trazo previamente preparadas para separar una pluralidad de celdas solares de la oblea de celda solar. La oblea de celda solar se puede hacer avanzar de forma continua a lo largo de la superficie curva, por ejemplo. De forma alternativa, la celda solar se puede hacer avanzar a lo largo de la superficie curva en movimientos discretos.

15 La superficie curva puede ser, por ejemplo, una porción curva de una superficie superior de un colector de vacío que aplica vacío a la superficie inferior de la oblea de celda solar. El vacío aplicado a la superficie inferior de la oblea de celda solar por el colector de vacío puede variar a lo largo de la dirección de desplazamiento de la oblea de celda solar y puede ser, por ejemplo, más fuerte en una región del colector de vacío en la que la oblea de celda solar se escinde secuencialmente.

20 El procedimiento puede comprender transportar la oblea de celda solar a lo largo de la superficie superior curva del colector de vacío con una cinta perforada, donde el vacío se aplica a la superficie inferior de la oblea de celda solar a través de las perforaciones de la cinta perforada. Las perforaciones se pueden disponer opcionalmente en la cinta de modo que los bordes de entrada y de salida de la oblea de celda solar a lo largo de la dirección de desplazamiento de la oblea de celda solar cubran al menos a una perforación de la cinta y, por lo tanto, se arrastren hacia la superficie curva mediante el vacío, pero esto no es necesario.

30 El procedimiento puede comprender hacer avanzar la oblea de celda solar a lo largo de una región plana de la superficie superior del colector de vacío hasta alcanzar una región curva de transición de la superficie superior del colector de vacío que tiene una primera curvatura y, a continuación, hacer avanzar la oblea de celda solar hacia una región de escisión de la superficie superior del colector de vacío donde la oblea de celda solar se escinde secuencialmente, teniendo la región de escisión del colector de vacío una segunda curvatura más cerrada que la primera curvatura. El procedimiento puede comprender además hacer avanzar las celdas solares escindidas hacia una región posterior a la escisión del colector de vacío que tiene una tercera curvatura más cerrada que la segunda curvatura.

35 En cualquiera de las variaciones anteriores, el procedimiento puede comprender aplicar un vacío más fuerte entre la oblea de celda solar y la superficie curva en un extremo de cada línea de trazo y, a continuación, en el extremo opuesto de cada línea de trazo para proporcionar una distribución de tensión asimétrica a lo largo de cada línea de trazo que favorezca la nucleación y la propagación de una única fisura de escisión a lo largo de cada línea de trazo. De forma alternativa o además, en cualquiera de las variaciones anteriores, el procedimiento puede comprender orientar las líneas de trazo en la oblea de celda solar en un ángulo con respecto al colector de vacío de modo que, para cada línea de trazo, un extremo llegue a una región de escisión curva del colector de vacío antes que el otro extremo.

45 En cualquiera de las variaciones anteriores, el procedimiento puede comprender retirar las celdas solares escindidas de la superficie curva antes de que se toquen los bordes de las celdas solares escindidas. Por ejemplo, el procedimiento puede comprender retirar las celdas en una dirección tangencial o aproximadamente tangencial a la superficie curva del colector a una velocidad mayor que la velocidad de desplazamiento de las celdas a lo largo del colector. Esto se puede lograr con una cinta móvil dispuesta tangencialmente, por ejemplo, o con cualquier otro mecanismo adecuado.

50 En cualquiera de las variaciones anteriores, el procedimiento puede comprender trazar las líneas de trazo en la oblea de celda solar y aplicar un material de unión adhesivo eléctricamente conductor a porciones de la superficie superior o inferior de la oblea de celda solar antes de escindir la oblea de celda solar a lo largo de las líneas de trazo. Cada una de las celdas solares escindidas resultantes puede comprender entonces una porción del material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesto a lo largo de un borde escindido de su superficie superior o inferior. Las líneas de trazo se pueden formar antes o después de que se aplique el material de unión adhesivo eléctricamente conductor usando cualquier procedimiento de trazado adecuado. Las líneas de trazo se pueden formar mediante trazado con láser, por ejemplo.

55 En cualquiera de las variaciones anteriores, la oblea de celda solar puede ser una oblea de celda solar de silicio cuadrada o pseudocuadrada.

60 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de una cadena de celdas solares comprende disponer una pluralidad

de celdas solares rectangulares en línea con lados largos de celdas solares rectangulares contiguas superpuestos de manera solapada con material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesto en medio, y curar el material de unión eléctricamente conductor para unir de este modo entre sí celdas solares rectangulares superpuestas contiguas y conectarlas eléctricamente en serie. Las celdas solares se pueden fabricar, por ejemplo, mediante cualquiera de las variaciones del procedimiento de fabricación de celdas solares descrito anteriormente.

En un aspecto, un procedimiento de fabricación de una cadena de celdas solares comprende formar un patrón de metalización de superficie trasera en cada una de una o más celdas solares cuadradas, e imprimir con plantilla un patrón de metalización de superficie frontal completa en cada una de las una o más celdas solares cuadradas usando una única plantilla en una única etapa de impresión con plantilla. Estas etapas se pueden realizar en cualquier orden o simultáneamente, si es adecuado. El término "patrón de metalización de superficie frontal completa" se refiere a que después de la etapa de impresión con plantilla no es necesario depositar material de metalización adicional sobre la superficie frontal de la celda solar cuadrada para completar la formación de la metalización de superficie frontal. El procedimiento también comprende separar cada celda solar cuadrada en dos o más celdas solares rectangulares para formar, a partir de las una o más celdas solares cuadradas, una pluralidad de celdas solares rectangulares, de las que cada una comprende un patrón de metalización de superficie frontal completa y un patrón de metalización de superficie trasera, disponer la pluralidad de celdas solares rectangulares en línea con lados largos de celdas solares rectangulares contiguas superpuestos de manera solapada, y unir entre sí de forma conductora las celdas solares rectangulares de cada par de celdas solares rectangulares superpuestas contiguas con un material de unión eléctricamente conductor dispuesto entre las mismas para conectar eléctricamente el patrón de metalización de superficie frontal de una de las celdas solares rectangulares del par al patrón de metalización de superficie trasera de la otra de las celdas solares rectangulares del par, conectando de este modo eléctricamente la pluralidad de celdas solares rectangulares en serie.

La plantilla se puede configurar de modo que todas las porciones de la plantilla que definen uno o más rasgos característicos del patrón de metalización de superficie frontal en las una o más celdas solares cuadradas estén restringidas por conexiones físicas a otras porciones de la plantilla para que queden en un plano de la plantilla durante la impresión con plantilla.

El patrón de metalización de superficie frontal en cada celda solar rectangular puede comprender, por ejemplo, una pluralidad de dedos orientados de manera perpendicular a los lados largos de la celda solar rectangular, sin que ninguno de los dedos en el patrón de metalización de superficie frontal estén conectados físicamente entre sí por el patrón de metalización de superficie frontal.

Esta memoria descriptiva divulga celdas solares con pérdidas por recombinación de portadores reducidas en los bordes de la celda solar, por ejemplo, sin bordes escindidos que favorezcan la recombinación de portadores, procedimientos de fabricación de dichas celdas solares y el uso de dichas celdas solares en disposiciones solapadas (superpuestas) para formar superceldas.

En un aspecto, un procedimiento de fabricación de una pluralidad de celdas solares comprende depositar una o más capas de silicio amorfo de superficie frontal sobre una superficie frontal de una oblea de silicio cristalino, depositar una o más capas de silicio amorfo de superficie trasera sobre una superficie trasera de la oblea de silicio cristalino en el lado opuesto de la oblea de silicio cristalino desde la superficie frontal, formar patrones en las una o más capas de silicio amorfo de superficie frontal para formar uno o más surcos de superficie frontal en las una o más capas de silicio amorfo de superficie frontal, depositar una capa de pasivación de superficie frontal sobre las una o más capas de silicio amorfo de superficie frontal y en los surcos de superficie frontal, formar patrones en las una o más capas de silicio amorfo de superficie trasera para formar uno o más surcos de superficie trasera en las una o más capas de silicio amorfo de superficie trasera, y depositar una capa de pasivación de superficie trasera sobre las una o más capas de silicio amorfo de superficie trasera y en los surcos de superficie trasera. Cada uno de los uno o más surcos de superficie trasera está formado en línea con un surco correspondiente de los surcos de superficie frontal. El procedimiento comprende además escindir la oblea de silicio cristalino en uno o más planos de escisión, con cada plano de escisión centrado o sustancialmente centrado en un par diferente de surcos de superficie frontal y trasera correspondientes. Durante el funcionamiento de las celdas solares resultantes, las capas de silicio amorfo de superficie frontal se han de iluminar por la luz.

En algunas variaciones, solo se forman los surcos de superficie frontal, no los surcos de superficie trasera. En otras variaciones, solo se forman los surcos de superficie trasera, no los surcos de superficie frontal.

El procedimiento puede comprender formar los uno o más surcos de superficie frontal para penetrar en las capas de silicio amorfo de superficie frontal para llegar a la superficie frontal de la oblea de silicio cristalino, y/o formar los uno o más surcos de superficie trasera para penetrar en las una o más capas de silicio amorfo de superficie trasera para

llegar a la superficie trasera de la oblea de silicio cristalino.

El procedimiento puede comprender formar la capa de pasivación de superficie frontal y/o la capa de pasivación de superficie trasera a partir de un óxido conductor transparente.

5 Se puede usar un láser pulsado o una punta de diamante para iniciar un punto de escisión (por ejemplo, del orden de 100 micrómetros de largo). Se puede usar secuencialmente un láser CW y una boquilla de enfriamiento para inducir una alta tensión térmica de compresión y tracción y guiar la propagación completa de la escisión en la oblea de silicio cristalino para separar la oblea de silicio cristalino en los uno o más planos de escisión. De forma alternativa, la oblea de silicio cristalino se puede escindir mecánicamente en los uno o más planos de escisión. Se puede usar cualquier procedimiento de escisión adecuado.

10 Las una o más capas de silicio cristalino amorfo de superficie frontal pueden formar un punto de unión n-p con la oblea de silicio cristalino, en este caso puede ser preferente escindir la oblea de silicio cristalino desde su lado de superficie trasera. De forma alternativa, las una o más capas de silicio cristalino amorfo de superficie trasera pueden formar un punto de unión n-p con la oblea de silicio cristalino, en este caso puede ser preferente escindir la oblea de silicio cristalino desde su lado de superficie frontal.

15 En otro aspecto, un procedimiento de fabricación de una pluralidad de celdas solares comprende formar uno o más surcos en una primera superficie de una oblea de silicio cristalino, depositar una o más capas de silicio amorfo en la primera superficie de la oblea de silicio cristalino, depositar una capa de pasivación en los surcos y sobre las una o más capas de silicio amorfo en la primera superficie de la oblea de silicio cristalino, depositar una o más capas de silicio amorfo sobre una segunda superficie de la oblea de silicio cristalino en el lado opuesto de la oblea de silicio cristalino desde la primera superficie, y escindir la oblea de silicio cristalino en uno o más planos de escisión, con cada plano de escisión centrado o sustancialmente centrado en un surco diferente de los uno o más surcos.

20 El procedimiento puede comprender formar la capa de pasivación a partir de un óxido conductor transparente.

25 Se puede usar un láser para inducir tensión térmica en la oblea de silicio cristalino para escindir la oblea de silicio cristalino en los uno o más planos de escisión. De forma alternativa, la oblea de silicio cristalino se puede escindir mecánicamente en los uno o más planos de escisión. Se puede usar cualquier procedimiento de escisión adecuado.

30 Las una o más capas de silicio cristalino amorfo de superficie frontal pueden formar un punto de unión n-p con la oblea de silicio cristalino. De forma alternativa, las una o más capas de silicio cristalino amorfo de superficie trasera pueden formar un punto de unión n-p con la oblea de silicio cristalino.

35 En otro aspecto, un panel solar comprende una pluralidad de superceldas, comprendiendo cada supercelda una pluralidad de celdas solares dispuestas en línea con porciones de extremo de celdas solares contiguas superpuestas de manera solapada y unidas entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares en serie. Cada celda solar comprende una base de silicio cristalino, una o más capas de silicio amorfo de primera superficie dispuestas sobre una primera superficie de la base de silicio cristalino para formar un punto de unión n-p, una o más capas de silicio amorfo de segunda superficie dispuestas sobre una segunda superficie de la base de silicio cristalino en el lado opuesto de la base de silicio cristalino de la primera superficie, y capas de pasivación que evitan la recombinación de portadores en los bordes de las capas de silicio amorfo de primera superficie, en los bordes de las capas de silicio amorfo de segunda superficie, o en los bordes de las capas de silicio amorfo de primera superficie y los bordes de las capas de silicio amorfo de segunda superficie. Las capas de pasivación pueden comprender un óxido conductor transparente.

40 Las celdas solares se pueden formar, por ejemplo, mediante cualquiera de los procedimientos resumidos anteriormente o divulgados de otro modo en esta memoria descriptiva.

45 Estos y otros modos de realización, rasgos característicos y ventajas de la presente invención resultarán más evidentes para los expertos en la técnica cuando se tomen con referencia a la siguiente descripción más detallada de la invención junto con los dibujos adjuntos que se describen brevemente en primer lugar.

50 **Breve descripción de los dibujos**

55 Las figs. 1 a 39B-2 y 42A a 82J, y sus respectivas descripciones, se refieren a ejemplos que no forman parte de la invención, pero que facilitan el entendimiento de la invención. La figura 1 muestra un diagrama en sección transversal de una cadena de celdas solares conectadas en serie dispuestas de manera solapada con los extremos de celdas solares contiguas superpuestos para formar una supercelda solapada.

- La figura 2A muestra un diagrama de la superficie frontal (lado que da al sol) y el patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar rectangular de ejemplo que se puede usar para formar superceldas solapadas.
- 5 Las figuras 2B y 2C muestran diagramas de la superficie frontal (lado que da al sol) y los patrones de metalización de superficie frontal de dos celdas solares rectangulares de ejemplo que tienen esquinas redondeadas que se pueden usar para formar superceldas solapadas.
- 10 Las figuras 2D y 2E muestran diagramas de las superficies traseras y patrones de metalización de superficie trasera de ejemplo para la celda solar mostrada en la figura 2A.
- Las figuras 2F y 2G muestran diagramas de las superficies traseras y patrones de metalización de superficie trasera de ejemplo para las celdas solares mostradas en las figuras 2B y 2C, respectivamente.
- 15 La figura 2H muestra un diagrama de la superficie frontal (lado que da al sol) y el patrón de metalización de superficie frontal de otra celda solar rectangular de ejemplo que se puede usar para formar superceldas solapadas. El patrón de metalización de superficie frontal comprende placas de contacto discretas, de las que cada una está rodeada por una barrera configurada para evitar que material de unión adhesivo conductor no curado depositado en su placa de contacto salga de la placa de contacto.
- 20 La figura 21 muestra una vista en sección transversal de la celda solar de la figura 2H e identifica un detalle del patrón de metalización de superficie frontal mostrado en una vista ampliada en las figuras 2J y 2K que incluye una placa de contacto y porciones de una barrera que rodea a la placa de contacto.
- 25 La figura 2J muestra una vista ampliada del detalle de la figura 21.
- La figura 2K muestra una vista ampliada del detalle de la figura 21 con material de unión adhesivo conductor no curado sustancialmente confinado en la localización de la placa de contacto discreta por la barrera.
- 30 La figura 2L muestra un diagrama de la superficie trasera y un patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo para la celda solar de la figura 2H. El patrón de metalización de superficie trasera comprende placas de contacto discretas, de las que cada una está rodeada por una barrera configurada para evitar que material de unión adhesivo conductor no curado depositado en su placa de contacto salga de la placa de contacto.
- 35 La figura 2M muestra una vista en sección transversal de la celda solar de la figura 2L e identifica un detalle del patrón de metalización de superficie trasera mostrado en una vista ampliada en la figura 2N que incluye una placa de contacto y porciones de una barrera que rodea a la placa de contacto.
- 40 La figura 2N muestra una vista ampliada del detalle de la figura 2M.
- La figura 2O muestra otra variación de un patrón de metalización que comprende una barrera configurada para evitar que material de unión adhesivo conductor no curado salga de una placa de contacto. La barrera colinda con un lado de la placa de contacto y es más alta que la placa de contacto.
- 45 La figura 2P muestra otra variación del patrón de metalización de la figura 2O, con la barrera colindando con al menos dos lados de la placa de contacto.
- 50 La figura 2Q muestra un diagrama de la superficie trasera y un patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo para otra celda solar rectangular de ejemplo. El patrón de metalización de superficie trasera comprende una placa de contacto continua que discurre sustancialmente a lo largo de un lado largo de la celda solar a lo largo de un borde de la celda solar. La placa de contacto está rodeada por una barrera configurada para evitar que material de unión adhesivo conductor no curado depositado sobre la placa de contacto salga de la placa de contacto.
- 55 La figura 2R muestra un diagrama de la superficie frontal (lado que da al sol) y el patrón de metalización de superficie frontal de otra celda solar rectangular de ejemplo que se puede usar para formar superceldas solapadas. El patrón de metalización de superficie frontal comprende placas de contacto discretas dispuestas en una fila a lo largo de un borde de la celda solar y un conductor largo y delgado que discurre paralelo a la fila de placas de contacto y hacia el interior. El conductor largo y delgado forma una barrera configurada para evitar que material de unión adhesivo conductor no curado depositado en sus placas de contacto salga de las placas de contacto y llegue a áreas activas de la celda solar.
- 60 La figura 3A muestra un diagrama que ilustra un procedimiento de ejemplo mediante el que una celda solar de silicio

de conformación pseudocuadrada y de tamaño estándar se puede separar (por ejemplo, cortar o fraccionar) en celdas solares rectangulares de dos longitudes diferentes que se pueden usar para formar superceldas solapadas.

5 Las figuras 3B y 3C muestran diagramas que ilustran otro procedimiento de ejemplo mediante el que una celda solar de silicio pseudocuadrada se puede separar en celdas solares rectangulares. La figura 3B muestra la superficie frontal de la oblea y un patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo. La figura 3C muestra la superficie trasera de la oblea y un patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo.

10 Las figuras 3D y 3E muestran diagramas que ilustran un procedimiento de ejemplo mediante el que una celda solar de silicio cuadrada se puede separar en celdas solares rectangulares. La figura 3D muestra la superficie frontal de la oblea y un patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo. La figura 3E muestra la superficie trasera de la oblea y un patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo.

15 La figura 4A muestra una vista fragmentaria de la superficie frontal de una supercelda rectangular de ejemplo que comprende celdas solares rectangulares como se muestra, por ejemplo, en la figura 2A dispuestas de manera solapada, como se muestra en la figura 1.

20 Las figuras 4B y 4C muestran vistas frontal y trasera, respectivamente, de una supercelda rectangular de ejemplo que comprende celdas solares rectangulares en "chevrón" que tienen esquinas biseladas, como se muestra, por ejemplo, en la figura 2B, dispuestas de manera solapada como se muestra en la figura 1.

25 La figura 5A muestra un diagrama de un módulo solar rectangular de ejemplo que comprende una pluralidad de superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la mitad de la longitud de los lados cortos del módulo. Los pares de superceldas están dispuestos de extremo a extremo para formar filas con los lados largos de las superceldas en paralelo a los lados cortos del módulo.

30 La figura 5B muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo que comprende una pluralidad de superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la longitud de los lados cortos del módulo. Las superceldas están dispuestas con sus lados largos en paralelo a los lados cortos del módulo.

35 La figura 5C muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo que comprende una pluralidad de superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la longitud del lado largo del módulo. Las superceldas están dispuestas con sus lados largos en paralelo a los lados del módulo.

40 La figura 5D muestra un diagrama de un módulo solar rectangular de ejemplo que comprende una pluralidad de superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la mitad de la longitud de los lados largos del módulo. Los pares de superceldas están dispuestos de extremo a extremo para formar filas con los lados largos de las superceldas en paralelo a los lados largos del módulo.

45 La figura 5E muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo de configuración similar a la de la figura 5C, en el que todas las celdas solares a partir de las que se forman las superceldas son celdas solares en chevrón que tienen esquinas biseladas correspondientes a esquinas de obleas pseudocuadradas de las que se separaron las celdas solares.

50 La figura 5F muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo de configuración similar a la de la figura 5C, en el que las celdas solares a partir de las que se forman las superceldas comprenden una mezcla de celdas solares rectangulares y en chevrón dispuestas para reproducir las conformaciones de las obleas pseudocuadradas de las que se separaron.

55 La figura 5G muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo de configuración similar a la de la figura 5E, excepto que celdas solares en chevrón contiguas en una supercelda están dispuestas como imágenes especulares entre sí, de modo que sus bordes superpuestos tienen la misma longitud.

La figura 6 muestra una disposición de ejemplo de tres filas de superceldas interconectadas con interconectores eléctricos flexibles para colocar las superceldas de cada fila en serie entre sí y para colocar las filas en paralelo entre sí. Estas pueden ser tres filas en el módulo solar de la figura 5D, por ejemplo.

60 La figura 7A muestra interconectores flexibles de ejemplo que se pueden usar para interconectar superceldas en serie o en paralelo. Algunos de los ejemplos presentan patrones que incrementan su flexibilidad (resiliencia mecánica) a lo

- largo de sus ejes largos, a lo largo de sus ejes cortos o a lo largo de sus ejes largos y sus ejes cortos. La figura 7A muestra configuraciones de ejemplo de interconector largo de alivio de tensión que se pueden usar en tomas ocultas a superceldas como se describe en el presente documento o como interconectores a contactos de terminal de supercelda de superficie frontal o trasera. Las figuras 7B-1 y 7B-2 ilustran ejemplos de rasgos característicos de alivio de tensión fuera de plano. Las figuras 7B-1 y 7B-2 muestran una configuración de interconector largo de ejemplo que comprende rasgos característicos de alivio de tensión fuera de plano y que se puede usar en tomas ocultas a superceldas o como interconectores a contactos de terminal de supercelda de superficie frontal o trasera.
- La figura 8A muestra el detalle A de la figura 5D: una vista en sección transversal del módulo solar de ejemplo de la figura 5D que muestra detalles en sección transversal de interconectores eléctricos flexibles unidos a los contactos de terminal de superficie trasera de las filas de superceldas.
- La figura 8B muestra el detalle C de la figura 5D: una vista en sección transversal del módulo solar de ejemplo de la figura 5D que muestra detalles en sección transversal de interconectores eléctricos flexibles unidos a los contactos de terminal de superficie frontal (lado que da al sol) de las filas de superceldas.
- La figura 8C muestra el detalle B de la figura 5D: una vista en sección transversal del módulo solar de ejemplo de la figura 5D que muestra detalles en sección transversal de interconectores flexibles dispuestos para interconectar dos superceldas de una fila en serie.
- Las figuras 8D-8G muestran ejemplos adicionales de interconectores eléctricos unidos a un contacto de terminal frontal de una supercelda en un extremo de una fila de superceldas, contigua a un borde de un módulo solar. Los interconectores de ejemplo están configurados para ocupar poco espacio en la superficie frontal del módulo.
- La figura 9A muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la longitud del lado largo del módulo. Las superceldas están dispuestas en seis filas que están conectadas eléctricamente en paralelo entre sí y en paralelo a un diodo de derivación dispuesto en una caja de conexiones en la superficie trasera del módulo solar. Las conexiones eléctricas entre las superceldas y el diodo de derivación se realizan a través de bandas incrustadas en la estructura laminada del módulo.
- La figura 9B muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la longitud del lado largo del módulo. Las superceldas están dispuestas en seis filas que están conectadas eléctricamente en paralelo entre sí y en paralelo a un diodo de derivación dispuesto en una caja de conexiones en la superficie trasera y cerca de un borde del módulo solar. Una segunda caja de conexiones está localizada en la superficie trasera cerca de un borde opuesto del módulo solar. La conexión eléctrica entre las superceldas y el diodo de derivación se realiza a través de un cable externo entre las cajas de conexiones.
- La figura 9C muestra un módulo solar rectangular de vidrio-vidrio de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la longitud del lado largo del módulo. Las superceldas están dispuestas en seis filas que están conectadas eléctricamente en paralelo entre sí. Dos cajas de conexiones están montadas en bordes opuestos del módulo, lo que maximiza el área activa del módulo.
- La figura 9D muestra una vista lateral del módulo solar ilustrado en la figura 9C.
- La figura 9E muestra otro módulo solar de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la longitud del lado largo del módulo. Las superceldas están dispuestas en seis filas, con tres pares de filas conectadas individualmente a un dispositivo de gestión de potencia en el módulo solar.
- La figura 9F muestra otro módulo solar de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la longitud del lado largo del módulo. Las superceldas están dispuestas en seis filas, con cada fila conectada individualmente a un dispositivo de gestión de potencia en el módulo solar.
- Las figuras 9G y 9H muestran otros modos de realización de arquitecturas para la gestión de potencia a nivel de módulo usando superceldas solapadas.
- La figura 10A muestra un diagrama de circuito eléctrico esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra

en la figura 5B.

Las figuras 10B-1 y 10B-2 muestran un diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5B que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 10A.

5 La figura 11A muestra un diagrama de circuito eléctrico esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A.

10 Las figuras 11B-1 y 11B-2 muestran un diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A que tiene el diagrama de circuito eléctrico esquemático de la figura 11A.

Las figuras 11C-1 y 11C-2 muestran otro diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A que tiene el diagrama de circuito eléctrico esquemático de la figura 11A.

15 La figura 12A muestra otro diagrama de circuito esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A.

Las figuras 12B-1 y 12B-2 muestran un diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 12A.

20 Las figuras 12C-1, 12C-2 y 12C-3 muestran otro diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 12A.

25 La figura 13A muestra otro diagrama de circuito esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A.

La figura 13B muestra otro diagrama de circuito esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5B.

30 Las figuras 13C-1 y 13C-2 muestran un diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 13A. Ligeramente modificado, el diseño físico de las figuras 13C-1 y 13C-2 es adecuado para un módulo solar como se ilustra en la figura 5B que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 13B.

35 La figura 14A muestra un diagrama de otro módulo solar rectangular de ejemplo que comprende una pluralidad de superceldas rectangulares solapadas, teniendo el lado largo de cada supercelda una longitud de aproximadamente la mitad de la longitud del lado corto del módulo. Los pares de superceldas están dispuestos de extremo a extremo para formar filas con los lados largos de las superceldas en paralelo al lado corto del módulo.

40 La figura 14B muestra un diagrama de circuito esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 14A.

Las figuras 14C-1 y 14C-2 muestran un diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 14A que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 14B.

45 La figura 15 muestra otro diseño físico de ejemplo para diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5B que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 10A.

50 La figura 16 muestra una disposición de ejemplo de un conmutador inteligente que interconecta dos módulos solares en serie.

La figura 17 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo de fabricación de un módulo solar con superceldas.

55 La figura 18 muestra un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo de fabricación de un módulo solar con superceldas.

Las figuras 19A-19D muestran disposiciones de ejemplo mediante las que las superceldas se pueden curar con calor y presión.

60 Las figuras 20A-20C ilustran esquemáticamente un aparato de ejemplo que se puede usar para escindir celdas solares

trazadas. El aparato puede ser en particular ventajoso cuando se usa para escindir superceldas trazadas a las que se ha aplicado material de unión adhesivo conductor.

5 La figura 21 muestra una lámina posterior blanca con "rayas de cebra" con líneas oscuras de ejemplo que se puede usar en módulos solares que comprenden filas paralelas de superceldas para reducir el contraste visual entre las superceldas y porciones de la lámina posterior visibles desde la parte frontal del módulo.

10 La figura 22A muestra una vista en planta de un módulo convencional que utiliza conexiones de banda tradicionales en condiciones de punto crítico. La figura 22B muestra una vista en planta de un módulo que utiliza propagación térmica de acuerdo con los modos de realización, también en condiciones de punto crítico.

Las figuras 23A-23B muestran ejemplos de diseños de cadenas de superceldas con celdas biseladas.

15 Las figuras 24-25 muestran vistas en sección transversal simplificadas de matrices que comprenden una pluralidad de módulos ensamblados en configuraciones solapadas.

20 La figura 26 muestra un diagrama de la superficie trasera (en sombra) de un módulo solar que ilustra una interconexión eléctrica de ejemplo de los contactos eléctricos de terminal de superficie frontal (lado que da al sol) de una supercelda solapada a una caja de conexiones en el lado trasero del módulo.

25 La figura 27 muestra un diagrama de la superficie trasera (en sombra) de un módulo solar que ilustra una interconexión eléctrica de ejemplo de dos o más superceldas solapadas en paralelo, con los contactos eléctricos de terminal de superficie frontal (lado que da al sol) de las superceldas conectados entre sí y a una caja de conexiones en el lado trasero del módulo.

30 La figura 28 muestra un diagrama de la superficie trasera (en sombra) de un módulo solar que ilustra otra interconexión eléctrica de ejemplo de dos o más superceldas solapadas en paralelo, con los contactos eléctricos de terminal de superficie frontal (lado que da al sol) de las superceldas conectados entre sí y a una caja de conexiones en el lado trasero del módulo.

35 La figura 29 muestra diagramas fragmentarios en perspectiva y en sección transversal de dos superceldas que ilustran el uso de un interconector flexible intercalado entre extremos superpuestos de superceldas contiguas para conectar eléctricamente las superceldas en serie y para proporcionar una conexión eléctrica a una caja de conexiones. La figura 29A muestra una vista ampliada de un área de interés en la figura 29.

La figura 30A muestra una supercelda de ejemplo con interconectores eléctricos unidos a sus contactos de terminal de superficie frontal y trasera. La figura 30B muestra dos de las superceldas de la figura 30A interconectadas en paralelo.

40 Las figuras 31A-31C muestran diagramas de patrones de metalización de superficie posterior de ejemplo que se pueden emplear para crear tomas ocultas a superceldas como se describe en el presente documento.

Las figuras 32-33 muestran ejemplos del uso de tomas ocultas con interconectores que discurren aproximadamente por toda la anchura de la supercelda.

45 Las figuras 34A-34C muestran ejemplos de interconectores unidos a contactos de terminal de superficie trasera (figura 34A) y de superficie frontal (figuras 34B-34C) de supercelda.

50 Las figuras 35-36 muestran ejemplos del uso de tomas ocultas con interconectores cortos que abarcan el hueco entre superceldas contiguas pero que no se extienden sustancialmente hacia adentro a lo largo del eje largo de las celdas solares rectangulares.

Las figuras 37A-1 a 37F-3 muestran configuraciones de ejemplo para interconectores cortos de toma oculta que comprenden rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano.

55 Las figuras 38A-1 a 38B-2 muestran configuraciones de ejemplo para interconectores cortos de toma oculta que comprenden rasgos característicos de alivio de tensión fuera de plano.

60 Las figuras 39A-1 y 39A-2 muestran configuraciones de ejemplo para interconectores cortos de toma oculta que comprenden rasgos característicos de alineación. Las figuras 39B-1 y 39B-2 muestran una configuración de ejemplo de interconectores cortos de toma oculta que comprenden longitudes de lengüeta asimétricas.

- Las figuras 40 y 42A-44B muestran diseños de módulos solares de ejemplo que emplean lengüetas ocultas.
- 5 La figura 41 muestra un esquema eléctrico de ejemplo para los diseños de módulos solares de las figuras 40 y 42A-44B.
- La figura 45 muestra un flujo de corriente en un módulo solar de ejemplo con un diodo de derivación en conducción.
- Las figuras 46A-46B muestran un movimiento relativo entre componentes de módulo solar como resultado del ciclo térmico, respectivamente, en una dirección paralela a las filas de superceldas y una dirección perpendicular a las filas de superceldas en el módulo solar.
- 10 Las figuras 47A-47B muestran, respectivamente, otro diseño de módulo solar de ejemplo que emplea tomas ocultas y el esquema eléctrico correspondiente.
- 15 Las figuras 48A-48B muestran diseños de módulos de celdas solares adicionales que emplean tomas ocultas en combinación con diodos de derivación incrustados.
- Las figuras 49A-49B muestran diagramas de bloques de, respectivamente, un módulo solar que proporciona un voltaje convencional de CC a un microinversor y un módulo solar de alto voltaje como se describe en el presente documento que proporciona un alto voltaje de CC a un microinversor.
- 20 Las figuras 50A-50B muestran un diseño físico y esquemas eléctricos de ejemplo de módulos solares de alto voltaje de ejemplo que incorporan diodos de derivación.
- 25 Las figuras 51A-55B muestran arquitecturas de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo de módulos solares de alto voltaje que comprenden superceldas solapadas.
- La figura 56 muestra una disposición de ejemplo de seis superceldas en seis filas paralelas con extremos de filas contiguas desplazados e interconectados en serie mediante interconectores eléctricos flexibles.
- 30 La figura 57A ilustra esquemáticamente un sistema fotovoltaico que comprende una pluralidad de módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC conectados eléctricamente entre sí en paralelo y a un inversor de cadena. La figura 57B muestra el sistema fotovoltaico de la figura 57A implantado en una azotea.
- 35 Las figuras 58A-58D muestran disposiciones de fusibles limitadores de corriente y de diodos de bloqueo que se pueden usar para evitar que un módulo de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC que tenga un cortocircuito disipe una potencia significativa generada en otros módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC a los que está conectado eléctricamente en paralelo.
- 40 Las figuras 59A-59B muestran disposiciones de ejemplo en las que dos o más módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC están conectados eléctricamente en paralelo en una caja combinadora, que puede incluir fusibles limitadores de corriente y diodos de bloqueo.
- 45 Cada una de las figuras 60A-60B muestra una curva de corriente frente a voltaje y una curva de potencia frente a voltaje para una pluralidad de módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC conectados eléctricamente en paralelo. Las curvas de la figura 60A son para un caso de ejemplo en el que ninguno de los módulos incluye una celda solar con polarización inversa. Las curvas de la figura 60B son para un caso de ejemplo en el que algunos de los módulos incluyen una o más celdas solares con polarización inversa.
- 50 La figura 61A ilustra un ejemplo de un módulo solar que utiliza aproximadamente 1 diodo de derivación por cada supercelda. La figura 61C ilustra un ejemplo de un módulo solar que utiliza diodos de derivación en una configuración anidada. La figura 61B ilustra una configuración de ejemplo de un diodo de derivación conectado entre dos superceldas vecinas usando un interconector eléctrico flexible.
- 55 Las figuras 62A-62B ilustran esquemáticamente, de forma respectiva, vistas lateral y superior de otra herramienta de escisión de ejemplo.
- La figura 63A ilustra esquemáticamente el uso de una disposición de vacío asimétrica de ejemplo para controlar la nucleación y la propagación de fisuras a lo largo de líneas de trazo cuando se escinde una oblea. La figura 63B ilustra esquemáticamente el uso de una disposición de vacío simétrica de ejemplo que proporciona menos control de escisión que la disposición de la figura 63A.
- 60

- La figura 64 ilustra esquemáticamente una vista superior de una porción de un colector de vacío de ejemplo que se puede usar en la herramienta de escisión de las figuras 62A-62B.
- 5 La figura 65A y la figura 65B proporcionan, respectivamente, ilustraciones esquemáticas de vistas superior y en perspectiva del colector de vacío de ejemplo de la figura 64 cubierto por una cinta perforada.
- La figura 66 ilustra esquemáticamente una vista lateral de un colector de vacío de ejemplo que se puede usar en la herramienta de escisión de las figuras 62A-62B.
- 10 La figura 67 ilustra esquemáticamente una celda solar escindida que cubre una disposición de ejemplo de una cinta perforada y un colector de vacío.
- La figura 68 ilustra esquemáticamente las posiciones y orientaciones relativas de una celda solar escindida y de una porción no escindida de una oblea de tamaño estándar de la que se escindió la celda solar en un proceso de escisión de ejemplo.
- 15 Las figuras 69A-69G ilustran esquemáticamente aparatos y procedimientos mediante los que las celdas solares escindidas se pueden retirar de forma continua de una herramienta de escisión.
- 20 Las figuras 70A-70C proporcionan vistas ortogonales de otra variación de la herramienta de escisión de ejemplo de las figuras 62A-62B.
- La figura 71A y la figura 71B proporcionan vistas en perspectiva de la herramienta de escisión de ejemplo de las figuras 70A-70C en dos fases diferentes de un proceso de escisión.
- 25 Las figuras 72A-74B ilustran detalles de cintas perforadas y de colectores de vacío de la herramienta de escisión de ejemplo de las figuras 70A-70C.
- 30 Las figuras 75A-75G ilustran detalles de varios patrones de orificios de ejemplo que se pueden usar en cintas de vacío perforadas en la herramienta de escisión de ejemplo de las figuras 10A-10C.
- La figura 76 muestra un patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo en una celda solar rectangular.
- 35 Las figuras 77A-77B muestran patrones de metalización de superficie trasera de ejemplo en celdas solares rectangulares.
- La figura 78 muestra un patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo en una celda solar cuadrada que se puede cortar para formar una pluralidad de celdas solares rectangulares, teniendo cada una el patrón de metalización de superficie frontal mostrado en la figura 76.
- 40 La figura 79 muestra un patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo en una celda solar cuadrada que se puede cortar para formar una pluralidad de celdas solares rectangulares, teniendo cada una el patrón de metalización de superficie trasera mostrado en la figura 77A.
- 45 La figura 80 es un diagrama esquemático de una celda solar HIT de tamaño convencional que se corta en celdas solares de tira estrecha usando procedimientos de escisión convencionales, lo que da como resultado bordes escindidos que favorecen la recombinación de portadores.
- 50 Las figuras 81A-81J ilustran esquemáticamente etapas de un procedimiento de ejemplo para cortar una celda solar HIT de tamaño convencional en tiras de celda solar estrechas que carecen de bordes escindidos que favorecen la recombinación de portadores.
- 55 Las figuras 82A-82J ilustran esquemáticamente etapas de otro procedimiento de ejemplo para cortar una celda solar HIT de tamaño convencional en tiras de celda solar estrechas que carecen de bordes escindidos que favorecen la recombinación de portadores.

Descripción detallada

- 60 La siguiente descripción detallada se debe leer con referencia a los dibujos, en los que números de referencia idénticos se refieren a elementos similares en las diferentes figuras. Los dibujos, que no están necesariamente a escala,

representan modos de realización selectivos y no pretenden limitar el alcance de la invención. La descripción detallada ilustra a modo de ejemplo, no a modo de limitación, los principios de la invención. Esta descripción posibilitará claramente a un experto en la técnica fabricar y usar la invención, y describe varios modos de realización, adaptaciones, variaciones, alternativas y usos de la invención, incluyendo lo que actualmente se cree que es el mejor modo de llevar a cabo la invención.

Como se usa en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas en singular "un", "una", "el" y "la" incluyen referentes en plural a menos que el contexto lo indique claramente de otro modo. Además, el término "paralelo/a" pretende significar "paralelo/a o sustancialmente paralelo/a" y englobar desviaciones menores con respecto a geometrías paralelas en lugar de requerir que cualquier disposición paralela descrita en el presente documento sea exactamente paralela. El término "perpendicular" pretende significar "perpendicular o sustancialmente perpendicular" y englobar desviaciones menores con respecto a geometrías perpendiculares en lugar de requerir que cualquier disposición perpendicular descrita en el presente documento sea exactamente perpendicular. El término "cuadrado/a" pretende significar "cuadrado/a o sustancialmente cuadrado/a" y englobar desviaciones menores con respecto a conformaciones cuadradas, por ejemplo, conformaciones sustancialmente cuadradas que tienen esquinas biseladas (por ejemplo, redondeadas o truncadas de otro modo). El término "rectangular" pretende significar "rectangular o sustancialmente rectangular" y englobar desviaciones menores con respecto a conformaciones rectangulares, por ejemplo conformaciones sustancialmente rectangulares que tienen esquinas biseladas (por ejemplo, redondeadas o truncadas de otro modo).

Esta memoria descriptiva divulga disposiciones solapadas de alta eficacia de celdas solares de silicio en módulos de celdas solares, así como patrones de metalización de superficie frontal y trasera e interconectores para celdas solares que se pueden usar en dichas disposiciones. Esta memoria descriptiva también divulga procedimientos para fabricar dichos módulos solares. Los módulos de celdas solares se pueden emplear de forma ventajosa bajo iluminación de "un sol" (no concentrada), y pueden tener dimensiones físicas y especificaciones eléctricas que les permitan sustituirse por los módulos de celdas solares de silicio convencionales.

La figura 1 muestra una vista en sección transversal de una cadena de celdas solares 10 conectadas en serie dispuestas de manera solapada con los extremos de celdas solares contiguas superpuestos y conectados eléctricamente para formar una supercelda 100. Cada celda solar 10 comprende una estructura de diodos semiconductores y contactos eléctricos a la estructura de diodos semiconductores mediante los que la corriente eléctrica generada en la celda solar 10 cuando está iluminada por la luz se puede proporcionar a una carga externa.

En los ejemplos descritos en esta memoria descriptiva, cada celda solar 10 es una celda solar de silicio cristalino que tiene patrones de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) y de superficie trasera (lado en sombra) que proporcionan contacto eléctrico a los lados opuestos de un punto de unión n-p, el patrón de metalización de superficie frontal está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n y el patrón de metalización de superficie trasera está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p. Sin embargo, cualquier otra celda solar adecuada que emplee cualquier otro sistema de material, estructura de diodo, dimensiones físicas o disposición de contacto eléctrico adecuados se puede usar en lugar de o además de las celdas solares 10 en los módulos solares descritos en esta memoria descriptiva. Por ejemplo, el patrón de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) se puede disponer sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p, y disponer el patrón de metalización de superficie trasera (lado en sombra) sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n.

En referencia de nuevo a la figura 1, en la supercelda 100, celdas solares contiguas 10 están unidas entre sí de forma conductora en la región en la que se superponen mediante un material de unión eléctricamente conductor que conecta eléctricamente el patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar al patrón de metalización de superficie trasera de la celda solar contigua. Los materiales de unión eléctricamente conductores adecuados pueden incluir, por ejemplo, adhesivos eléctricamente conductores y películas adhesivas y cintas adhesivas eléctricamente conductoras, y soldaduras convencionales. Preferentemente, el material de unión eléctricamente conductor proporciona resiliencia mecánica en la unión entre las celdas solares contiguas que acomoda la tensión que surge por la discrepancia entre el coeficiente de expansión térmica (CTE) del material de unión eléctricamente conductor y el de las celdas solares (por ejemplo, el CTE de silicio). Para proporcionar dicha resiliencia mecánica, en algunas variaciones el material de unión eléctricamente conductor se selecciona para que tenga una temperatura de transición vítrea inferior o igual a 0 °C aproximadamente. Para reducir y acomodar además la tensión paralela a los bordes superpuestos de las celdas solares que surge de la discrepancia de CTE, el material de unión eléctricamente conductor se puede aplicar opcionalmente solo en localizaciones discretas a lo largo de las regiones superpuestas de las celdas solares en lugar de en una línea continua que se extienda sustancialmente a lo largo de los bordes de las celdas solares.

El grosor de la unión eléctricamente conductora entre celdas solares superpuestas contiguas formadas por el material de unión eléctricamente conductor, medido de manera perpendicular a las superficies frontal y trasera de las celdas

solares, puede ser, por ejemplo, inferior a 0,1 mm aproximadamente. Una unión delgada de este tipo reduce la pérdida resistiva en la interconexión entre las celdas y también favorece el flujo de calor a lo largo de la supercelda desde cualquier punto crítico en la supercelda que pueda aparecer durante el funcionamiento. La conductividad térmica de la unión entre celdas solares puede ser, por ejemplo, \geq de 1,5 vatios/(metro K) aproximadamente.

5 La figura 2A muestra la superficie frontal de una celda solar rectangular 10 de ejemplo que se puede usar en una supercelda 100. También se pueden usar otras conformaciones para la celda solar 10, según convenga. En el ejemplo ilustrado, el patrón de metalización de superficie frontal de la celda solar 10 incluye una barra colectora 15 situada contigua al borde de uno de los lados largos de la celda solar 10 y que discurre paralela a los lados largos sustancialmente a lo largo de los lados largos, y dedos 20 acoplados de manera perpendicular a la barra colectora y que discurren paralelos entre sí y a los lados cortos de la celda solar 10 sustancialmente a lo largo de los lados cortos.

10 En el ejemplo de la figura 2A, la celda solar 10 tiene una longitud de 156 mm aproximadamente, una anchura de 26 mm aproximadamente y, por tanto, una proporción de aspecto (longitud del lado corto/longitud del lado largo) de 1:6 aproximadamente. Se pueden preparar seis celdas solares de este tipo en una oblea de silicio de dimensiones estándar de 156 mm x 156 mm y, a continuación, se pueden separar (cortar) para proporcionar celdas solares como se ilustra. En otras variaciones, se pueden preparar ocho celdas solares 10 que tienen unas dimensiones de 19,5 mm x 156 mm aproximadamente y, por tanto, una proporción de aspecto de 1:8 aproximadamente, a partir de una oblea de silicio estándar. Más en general, las celdas solares 10 pueden tener proporciones de aspecto de, por ejemplo, 1:2 aproximadamente a 1:20 aproximadamente y se pueden preparar a partir de obleas de tamaño estándar o de obleas de cualquier otra dimensión adecuada.

15 La figura 3A muestra un procedimiento de ejemplo mediante el que una oblea de celda solar de silicio 45 de conformación pseudocuadrada y de tamaño estándar se puede cortar, fraccionar o dividir de otro modo para formar celdas solares rectangulares como se acaba de describir. En este ejemplo, varias celdas solares rectangulares 10L de anchura completa se cortan desde la parte central de la oblea y, además, varias celdas solares rectangulares 10S más cortas se cortan desde las porciones de extremo de la oblea, y las esquinas biseladas o redondeadas de la oblea se descartan. Las celdas solares 10L se pueden usar para formar superceldas solapadas de una anchura, y las celdas solares 10S se pueden usar para formar superceldas solapadas de una anchura más estrecha.

20 De forma alternativa, las esquinas biseladas (por ejemplo, redondeadas) se pueden retener en las celdas solares cortadas de las porciones de extremo de la oblea. Las figuras 2B-2C muestran las superficies frontales de celdas solares rectangulares en "chevrón" 10 de ejemplo sustancialmente similares a las de la figura 2A, pero que tienen esquinas biseladas retenidas de la oblea de la que se cortaron las celdas solares. En la figura 2B, la barra colectora 15 está situada contigua al lado más corto de los dos lados largos y discurre paralela al mismo sustancialmente a lo largo de ese lado y, además, se extiende en ambos extremos al menos parcialmente alrededor de las esquinas biseladas de la celda solar. En la figura 2C, la barra colectora 15 está situada contigua al lado más largo de los dos lados largos y discurre paralela al mismo sustancialmente a lo largo de ese lado. Las figuras 3B-3C muestran vistas frontal y trasera de una oblea pseudocuadrada 45 que se puede cortar a lo largo de las líneas discontinuas mostradas en la figura 3C para proporcionar una pluralidad de celdas solares 10 que tienen patrones de metalización de superficie frontal similares a los que se muestran en la figura 2A, y dos celdas solares biseladas 10 que tienen patrones de metalización de superficie frontal similares a los que se muestran en la figura 2B.

25 En el patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo mostrado en la figura 2B, cada una de las dos porciones de extremo de la barra colectora 15 que se extienden alrededor de las esquinas biseladas de la celda puede tener una anchura que se ahúsa (se estrecha gradualmente) a medida que se incrementa la distancia desde la porción de la barra colectora localizada de forma contigua al lado largo de la celda. De forma similar, en el patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo mostrado en la figura 3B, las dos porciones de extremo del conductor delgado que interconecta las placas de contacto discretas 15 se extienden alrededor de las esquinas biseladas de la celda solar y se ahúsan a medida que se incrementa la distancia desde el lado largo de la celda solar a lo largo del que están dispuestas las placas de contacto discretas. Dicho estrechamiento ahusado es opcional, pero puede reducir de forma ventajosa el uso de metal y el ensombrecimiento de la región activa de la celda solar sin incrementar significativamente la pérdida resistiva.

30 Las figuras 3D-3E muestran vistas frontal y trasera de una oblea cuadrada perfecta 47 que se puede cortar a lo largo de las líneas discontinuas mostradas en la figura 3E para proporcionar una pluralidad de celdas solares 10 que tienen patrones de metalización de superficie frontal similares a los que se muestran en la figura 2A.

35 Las celdas solares rectangulares biseladas se pueden usar para formar superceldas que solo comprenden celdas solares biseladas. De forma adicional o alternativa, una o más de dichas celdas solares rectangulares biseladas se pueden usar en combinación con una o más celdas solares rectangulares no biseladas (por ejemplo, figura 2A) para

5 formar una supercelda. Por ejemplo, las celdas solares de extremo de una supercelda pueden ser celdas solares biseladas, y las celdas solares intermedias pueden ser celdas solares no biseladas. Si las celdas solares biseladas se usan en combinación con celdas solares no biseladas en una supercelda, o más en general en un módulo solar, puede ser deseable usar dimensiones para las celdas solares que den como resultado que las celdas solares biseladas y no biseladas tengan la misma área de superficie frontal expuesta a la luz durante el funcionamiento de las celdas solares. Al hacer coincidir las áreas de las celdas solares de esta manera, se hace coincidir la corriente producida en las celdas solares biseladas y no biseladas, lo que mejora el rendimiento de una cadena conectada en serie que incluye tanto celdas solares biseladas como no biseladas. Las áreas de las celdas solares biseladas y no biseladas cortadas de la misma oblea pseudocuadrada pueden coincidir, por ejemplo, ajustando las localizaciones de las líneas a lo largo de las que se corta la oblea para hacer que las celdas solares biseladas sean ligeramente más anchas que las celdas solares no biseladas en la dirección perpendicular a sus ejes largos, para compensar las esquinas que faltan en las celdas solares biseladas.

15 Un módulo solar puede comprender solo superceldas formadas exclusivamente a partir de celdas solares rectangulares no biseladas, o solo superceldas formadas a partir de celdas solares rectangulares biseladas, o solo superceldas que incluyen celdas solares biseladas y no biseladas, o cualquier combinación de estas tres variaciones de supercelda.

20 En algunos casos, porciones de una oblea de celda solar cuadrada o pseudocuadrada de tamaño estándar (por ejemplo, la oblea 45 o la oblea 47) cerca de los bordes de la oblea pueden convertir la luz en electricidad con menor eficacia que porciones de la oblea localizadas lejos de los bordes. Para mejorar la eficacia de las celdas solares rectangulares resultantes, en algunas variaciones se recortan uno o más bordes de la oblea para eliminar las porciones de menor eficacia antes de cortar la oblea. Las porciones recortadas de los bordes de la oblea pueden tener anchuras de 1 mm aproximadamente a 5 mm aproximadamente, por ejemplo. Además, como se muestra en las figuras 3B y 3D, las dos celdas solares de extremo 10 que se van a cortar de una oblea se pueden orientar con sus barras colectoras de superficie frontal (o placas de contacto discretas) 15 a lo largo de sus bordes exteriores y, por tanto, a lo largo de dos de los bordes de la oblea. Debido a que en las superceldas divulgadas en esta memoria descriptiva, las barras colectoras (o placas de contacto discretas) 15 están superpuestas típicamente por una celda solar contigua, la baja eficacia de conversión de luz a lo largo de esos dos bordes de la oblea no afecta típicamente al rendimiento de las celdas solares. En consecuencia, en algunas variaciones, los bordes de una oblea cuadrada o pseudocuadrada orientados en paralelo a los lados cortos de las celdas solares rectangulares se recortan como se acaba de describir, pero no los bordes de la oblea orientados en paralelo a los lados largos de las celdas solares rectangulares. En otras variaciones, uno, dos, tres o cuatro bordes de una oblea cuadrada (por ejemplo, la oblea 47 en la figura 3D) se recortan como se acaba de describir. En otras variaciones, uno, dos, tres o cuatro de los bordes largos de una oblea pseudocuadrada se recortan como se acaba de describir.

35 Las celdas solares que tienen proporciones de aspecto largas y estrechas y áreas inferiores a las de una celda solar estándar de 156 mm x 156 mm, como se ilustra, se pueden emplear de forma ventajosa para reducir las pérdidas de potencia resistiva I^2R en los módulos de celdas solares divulgados en esta memoria descriptiva. En particular, el área reducida de las celdas solares 10 en comparación con las celdas solares de silicio de tamaño estándar disminuye la corriente producida en la celda solar, reduciendo directamente la pérdida de potencia resistiva en la celda solar y en una cadena conectada en serie de dichas celdas solares. Además, disponer dichas celdas solares rectangulares en una supercelda 100 de modo que la corriente fluya a través de la supercelda en paralelo a los lados cortos de las celdas solares puede reducir la distancia que debe fluir la corriente a través del material semiconductor para llegar a los dedos 20 en el patrón de metalización de superficie frontal y reducir la longitud requerida de los dedos, lo que también puede reducir la pérdida de potencia resistiva.

50 Como se indica anteriormente, unir las celdas solares 10 superpuestas entre sí en su región de superposición para conectar eléctricamente las celdas solares en serie reduce la longitud de la conexión eléctrica entre celdas solares contiguas, en comparación con las cadenas de celdas solares conectadas en serie con lengüetas convencionales. Esto también reduce la pérdida de potencia resistiva.

55 En referencia de nuevo a la figura 2A, en el ejemplo ilustrado, el patrón de metalización de superficie frontal en la celda solar 10 comprende un conductor de derivación 40 opcional que discurre paralelo a y espaciado de la barra colectorora 15. (Un conductor de derivación de este tipo también se puede usar, opcionalmente, en los patrones de metalización mostrados en las figuras 2B-2C, 3B y 3D, y también se muestra en la figura 2Q en combinación con placas de contacto discretas 15 en lugar de una barra colectorora continua). El conductor de derivación 40 interconecta los dedos 20 para eludir eléctricamente las fisuras que se pueden formar entre la barra colectorora 15 y el conductor de derivación 40. Dichas fisuras, que pueden segregar dedos 20 en localizaciones cercanas a la barra colectorora 15, pueden aislar de otro modo regiones de la celda solar 10 de la barra colectorora 15. El conductor de derivación proporciona una ruta eléctrica alternativa entre dichos dedos segregados y la barra colectorora. El ejemplo ilustrado muestra un conductor de derivación 40 situado paralelo a la barra colectorora 15, que se extiende aproximadamente por toda la longitud de la

5 barra colectora e interconecta cada dedo 20. Esta disposición puede ser preferente pero no es necesaria. Si está presente, el conductor de derivación no necesita discurrir paralelo a la barra colectora y no necesita extenderse por toda la longitud de la barra colectora. Además, un conductor de derivación interconecta al menos dos dedos, pero no necesita interconectar todos los dedos. Se pueden usar dos o más conductores de derivación cortos en lugar de un conductor de derivación más largo, por ejemplo. Se puede usar cualquier disposición adecuada de conductores de derivación. El uso de dichos conductores de derivación se describe con más detalle en la solicitud de patente de EE. UU. con número de serie 13/371.790, titulada "Solar Cell With Metallization Compensating For Or Preventing Cracking [Celda solar con metalización que compensa o previene la formación de fisuras]", y presentada el 13 de febrero de 2012.

10 El patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo de la figura 2A también incluye un conductor de extremo 42 opcional que interconecta los dedos 20 en sus extremos lejanos, opuestos a la barra colectora 15. (Un conductor de extremo de este tipo también se puede usar opcionalmente en los patrones de metalización mostrados en las figuras 2B-2C, 3B, 3D y 2Q). La anchura del conductor 42 puede ser aproximadamente la misma que la de un dedo 20, por ejemplo. El conductor 42 interconecta los dedos 20 para eludir eléctricamente las fisuras que se puedan formar entre el conductor de derivación 40 y el conductor 42 y, de este modo, proporciona una ruta de corriente a la barra colectora 15 para las regiones de la celda solar 10 que, de otro modo, podrían estar eléctricamente aisladas por dichas fisuras.

15 Aunque algunos de los ejemplos ilustrados muestran una barra colectora frontal 15 que se extiende sustancialmente a lo largo de los lados largos de la celda solar 10 con una anchura uniforme, esto no es necesario. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, la barra colectora frontal 15 se puede reemplazar por dos o más placas de contacto discretas de superficie frontal 15 que se pueden disponer, por ejemplo, en línea entre sí a lo largo de un lado de la celda solar 10, como se muestra en las figuras 2H, 2Q y 3B por ejemplo. Dichas placas de contacto discretas pueden, opcionalmente, estar interconectadas por conductores más delgados que discurren entre las mismas, como se muestra, por ejemplo, en las figuras que se acaban de mencionar. En dichas variaciones, la anchura de las placas de contacto medida de manera perpendicular al lado largo de la celda solar puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 2 a aproximadamente 20 veces la de los conductores delgados que interconectan las placas de contacto. Puede haber una placa de contacto separada (por ejemplo, pequeña) para cada dedo en el patrón de metalización de superficie frontal, o cada placa de contacto puede estar conectada a dos o más dedos. Las placas de contacto de superficie frontal 15 pueden ser cuadradas o tener una conformación rectangular alargada paralela al borde de la celda solar, por ejemplo. Las placas de contacto de superficie frontal 15 pueden tener anchuras perpendiculares al lado largo de la celda solar de 1 mm aproximadamente a 1,5 mm aproximadamente, por ejemplo, y longitudes paralelas al lado largo de la celda solar de 1 mm aproximadamente a 10 mm aproximadamente, por ejemplo. La separación entre las placas de contacto 15 medida en paralelo al lado largo de la celda solar puede ser de 3 mm aproximadamente a 30 mm aproximadamente, por ejemplo.

20 De forma alternativa, la celda solar 10 puede carecer tanto de una barra colectora frontal 15 como de placas de contacto frontales 15 discretas e incluir solo dedos 20 en el patrón de metalización de superficie frontal. En dichas variaciones, las funciones de captación de corriente que, de otro modo, se realizarían por una barra colectora frontal 15 o placas de contacto 15, se pueden realizar, o parcialmente realizar, en su lugar, por el material conductor usado para unir dos celdas solares 10 entre sí en la configuración de superposición descrita anteriormente.

25 Las celdas solares que carecen tanto de una barra colectora 15 como de placas de contacto 15 pueden incluir un conductor de derivación 40 o bien no incluir un conductor de derivación 40. Si la barra colectora 15 y las placas de contacto 15 están ausentes, el conductor de derivación 40 se puede disponer para eludir las fisuras que se formen entre el conductor de derivación y la porción del patrón de metalización de superficie frontal que está unida de forma conductora a la celda solar superpuesta.

30 Los patrones de metalización de superficie frontal, que incluyen la barra colectora o las placas de contacto discretas 15, los dedos 20, el conductor de derivación 40 (si está presente) y el conductor de extremo 42 (si está presente) se pueden formar, por ejemplo, a partir de pasta de plata usada convencionalmente para dichos propósitos y depositada, por ejemplo, mediante procedimientos convencionales de serigrafía. De forma alternativa, los patrones de metalización de superficie frontal se pueden formar a partir de cobre galvanizado. También se puede usar cualquier otro material y proceso adecuado. En variaciones en las que el patrón de metalización de superficie frontal se forma a partir de plata, el uso de placas de contacto de superficie frontal discretas 15 en lugar de una barra colectora 15 continua a lo largo del borde de la celda reduce la cantidad de plata en la celda solar, lo que puede reducir de forma ventajosa el coste. En variaciones en las que el patrón de metalización de superficie frontal se forma a partir de cobre o de otro conductor menos costoso que la plata, se puede emplear un bus continuo 15 sin una desventaja con respecto al coste.

35 Las figuras 2D-2G, 3C y 3E muestran patrones de metalización de superficie trasera de ejemplo de una celda solar. En estos ejemplos, los patrones de metalización de superficie trasera incluyen placas de contacto de superficie trasera

discretas 25 dispuestas a lo largo de uno de los bordes largos de la superficie trasera de la celda solar y un contacto metálico 30 que cubre sustancialmente toda la superficie trasera restante de la celda solar. En una supercelda solapada, las placas de contacto 25 están unidas, por ejemplo, a una barra colectora o a placas de contacto discretas dispuestas a lo largo del borde de la superficie superior de una celda solar superpuesta contigua para conectar eléctricamente las dos celdas solares en serie. Por ejemplo, cada placa de contacto de superficie trasera discreta 25 se puede alinear con y unir a una placa de contacto de superficie frontal discreta 15 correspondiente en la superficie frontal de la celda solar superpuesta mediante material de unión eléctricamente conductor aplicado solo a las placas de contacto discretas. Las placas de contacto discretas 25 pueden ser cuadradas (figura 2D) o tener una conformación rectangular alargada paralela al borde de la celda solar (figuras 2E-2G, 3C, 3E), por ejemplo. Las placas de contacto 25 pueden tener anchuras perpendiculares al lado largo de la celda solar de 1 mm aproximadamente a 5 mm aproximadamente, por ejemplo, y longitudes paralelas al lado largo de la celda solar de 1 mm aproximadamente a 10 mm aproximadamente, por ejemplo. La separación entre las placas de contacto 25 medida en paralelo al lado largo de la celda solar puede ser de 3 mm aproximadamente a 30 mm aproximadamente, por ejemplo.

El contacto 30 se puede formar, por ejemplo, a partir de aluminio y/o cobre galvanizado. La formación de un contacto posterior de aluminio 30 proporciona típicamente un campo de superficie posterior que reduce la recombinación de superficie posterior en la celda solar y, de este modo, mejora la eficacia de la celda solar. Si el contacto 30 está formado a partir de cobre en lugar de aluminio, el contacto 30 se puede usar en combinación con otro esquema de pasivación (por ejemplo, óxido de aluminio) para reducir de forma similar la recombinación de superficie posterior. Las placas de contacto discretas 25 se pueden formar, por ejemplo, a partir de pasta de plata. El uso de placas de contacto de plata discretas 25 en lugar de una placa de contacto de plata continua a lo largo del borde de la celda reduce la cantidad de plata en el patrón de metalización de superficie trasera, lo que puede reducir de forma ventajosa el coste.

Además, si las celdas solares se basan en un campo de superficie posterior proporcionado por la formación de un contacto de aluminio para reducir la recombinación de superficie posterior, el uso de contactos de plata discretos en lugar de un contacto de plata continuo puede mejorar la eficacia de la celda solar. Esto se debe a que los contactos de superficie trasera de plata no proporcionan un campo de superficie posterior y, por lo tanto, tienden a favorecer la recombinación de portadores y producir volúmenes muertos (inactivos) en las celdas solares por encima de los contactos de plata. En cadenas de celdas solares con lengüetas de banda convencionales, esos volúmenes muertos quedan típicamente en sombra por bandas y/o barras colectoras en la superficie frontal de la celda solar y, por tanto, no dan como resultado ninguna pérdida adicional de eficacia. Sin embargo, en las celdas solares y las superceldas divulgadas en el presente documento, el volumen de la celda solar por encima de las placas de contacto de plata de superficie trasera 25 no quedan típicamente en sombra por ninguna metalización de superficie frontal, y cualquier volumen muerto resultante del uso de la metalización de superficie trasera de plata reduce la eficacia de la celda. El uso de placas de contacto de plata discretas 25 en lugar de una placa de contacto de plata continua a lo largo del borde de la superficie trasera de la celda solar reduce por tanto el volumen de cualquier zona muerta correspondiente e incrementa la eficacia de la celda solar.

En variaciones que no se basan en un campo de superficie posterior para reducir la recombinación de superficie posterior, el patrón de metalización de superficie trasera puede emplear una barra colectora continua 25 que se extiende a lo largo de la celda solar en lugar de placas de contacto discretas 25, como se muestra, por ejemplo, en la [figura 2Q](#). Una barra colectora 25 de este tipo se puede formar, por ejemplo, a partir de estaño o plata.

Otras variaciones de los patrones de metalización de superficie trasera pueden emplear placas de contacto de estaño discretas 25. Variaciones de los patrones de metalización de superficie trasera pueden emplear contactos de dedo similares a los mostrados en los patrones de metalización de superficie frontal de las figuras 2A-2C y pueden carecer de placas de contacto y de una barra colectora.

Aunque se describe que las celdas solares de ejemplo particulares mostradas en las figuras tienen combinaciones particulares de patrones de metalización de superficie frontal y trasera, más en general se puede usar cualquier combinación adecuada de patrones de metalización de superficie frontal y trasera. Por ejemplo, una combinación adecuada puede emplear un patrón de metalización de superficie frontal de plata que comprende placas de contacto discretas 15, dedos 20 y un conductor de derivación opcional 40, y un patrón de metalización de superficie trasera que comprende un contacto de aluminio 30 y placas de contacto de plata discretas 25. Otra combinación adecuada puede emplear un patrón de metalización de superficie frontal de cobre que comprende una barra colectora continua 15, dedos 20 y un conductor de derivación opcional 40, y un patrón de metalización de superficie trasera que comprende una barra colectora continua 25 y un contacto de cobre 30.

En el proceso de fabricación de superceldas (descrito con más detalle a continuación), el material de unión eléctricamente conductor usado para unir celdas solares superpuestas contiguas en una supercelda se puede distribuir solo sobre placas de contacto (discretas o continuas) en el borde de la superficie frontal o trasera de la celda solar, y

no sobre las porciones circundantes de la celda solar. Esto reduce el uso de material y, como se describe anteriormente, puede reducir o acomodar la tensión que surge de la discrepancia de CTE entre el material de unión eléctricamente conductor y la celda solar. Sin embargo, durante o después del depósito y antes del curado, porciones del material de unión eléctricamente conductor pueden tender a esparcirse más allá de las placas de contacto y sobre porciones circundantes de la celda solar. Por ejemplo, una porción de resina aglutinante del material de unión eléctricamente conductor se puede arrastrar desde una placa de contacto hacia porciones contiguas texturizadas o porosas de la superficie de celda solar mediante fuerzas capilares. Además, durante el proceso de depósito, parte del material de unión conductor puede pasar por alto la placa de contacto y, en su lugar, depositarse sobre porciones contiguas de la superficie de celda solar y, posiblemente, esparcirse desde allí. Este esparcimiento y/o depósito impreciso del material de unión conductor puede debilitar la unión entre las celdas solares superpuestas y puede dañar las porciones de la celda solar sobre las que se ha esparcido o depositado por error el material de unión conductor. Dicho esparcimiento del material de unión eléctricamente conductor se puede reducir o evitar, por ejemplo, con un patrón de metalización que forme un dique o barrera cerca o alrededor de cada placa de contacto para retener el material de unión eléctricamente conductor sustancialmente en su lugar.

Como se muestra en las figuras 2H-2K, por ejemplo, el patrón de metalización de superficie frontal puede comprender placas de contacto discretas 15, dedos 20 y barreras 17, rodeando cada barrera 17 una placa de contacto 15 correspondiente y actuando como un dique para formar un foso entre la placa de contacto y la barrera. Las porciones 19 de material de unión adhesivo conductor no curado 18 que salen de las placas de contacto, o que pasan por alto las placas de contacto cuando se distribuyen sobre la celda solar, pueden quedar confinadas en los fosos por barreras 17. Esto evita que el material de unión adhesivo conductor se esparza más allá de las placas de contacto hacia porciones circundantes de la celda. Las barreras 17 se pueden formar a partir del mismo material que los dedos 20 y las placas de contacto 15 (por ejemplo, plata), por ejemplo, pueden tener alturas de 10 micrómetros aproximadamente a 40 micrómetros aproximadamente, por ejemplo, y pueden tener anchuras de 30 micrómetros aproximadamente a 100 micrómetros aproximadamente, por ejemplo. El foso formado entre una barrera 17 y una placa de contacto 15 puede tener una anchura de 100 micrómetros aproximadamente a 2 mm aproximadamente, por ejemplo. Aunque los ejemplos ilustrados comprenden solo una única barrera 17 alrededor de cada placa de contacto frontal 15, en otras variaciones dos o más de dichas barreras se pueden situar concéntricamente, por ejemplo, alrededor de cada placa de contacto. Una placa de contacto de superficie frontal y su una o más barreras circundantes pueden formar una conformación similar a una diana de tipo "ojo de buey", por ejemplo. Como se muestra en la figura 2H, por ejemplo, las barreras 17 se pueden interconectar con los dedos 20 y con los conductores delgados que interconectan las placas de contacto 15.

De forma similar, como se muestra en las figuras 2L-2N, por ejemplo, el patrón de metalización de superficie trasera puede comprender placas de contacto traseras discretas (por ejemplo, de plata) 25, un contacto (por ejemplo, de aluminio) 30 que cubre sustancialmente toda la superficie trasera restante de la celda solar y barreras (por ejemplo, de plata) 27, rodeando cada barrera 27 una placa de contacto trasera 25 correspondiente y actuando como un dique para formar un foso entre la placa de contacto y la barrera. Una porción del contacto 30 puede llenar el foso, como se ilustra. Las porciones de material de unión adhesivo conductor no curado que salen de las placas de contacto 25, o que pasan por alto las placas de contacto cuando se distribuyen sobre la celda solar, pueden quedar confinadas en los fosos por barreras 27. Esto evita que el material de unión adhesivo conductor se esparza más allá de las placas de contacto hacia porciones circundantes de la celda. Las barreras 27 pueden tener alturas de 10 micrómetros aproximadamente a 40 micrómetros aproximadamente, por ejemplo, y pueden tener anchuras de 50 micrómetros aproximadamente a 500 micrómetros aproximadamente, por ejemplo. El foso formado entre una barrera 27 y una placa de contacto 25 puede tener una anchura de 100 micrómetros aproximadamente a 2 mm aproximadamente, por ejemplo. Aunque los ejemplos ilustrados comprenden solo una única barrera 27 alrededor de cada placa de contacto de superficie trasera 25, en otras variaciones dos o más de dichas barreras se pueden situar concéntricamente, por ejemplo, alrededor de cada placa de contacto. Una placa de contacto de superficie trasera y su una o más barreras circundantes pueden formar una conformación similar a una diana de tipo "ojo de buey", por ejemplo.

Una barra colectora continua o una placa de contacto que discurre sustancialmente a lo largo del borde de una celda solar también puede estar rodeada por una barrera que evita el esparcimiento del material de unión adhesivo conductor. Por ejemplo, la figura 2Q muestra una barrera 27 de este tipo que rodea una barra colectora de superficie trasera 25. Una barra colectora de superficie frontal (por ejemplo, la barra colectora 15 en la figura 2A) puede estar rodeada de forma similar por una barrera. De forma similar, una fila de placas de contacto de superficie frontal o trasera puede estar rodeada como un grupo por una barrera de este tipo, en lugar de estar rodeada individualmente por barreras separadas.

En lugar de rodear una barra colectora o una o más placas de contacto como se acaba de describir, un rasgo característico del patrón de metalización de superficie frontal o trasera puede formar una barrera que discurre sustancialmente a lo largo de la celda solar paralela al borde superpuesto de la celda solar, con la barra colectora o

5 placas de contacto situadas entre la barrera y el borde de la celda solar. Una barrera de este tipo puede cumplir una doble función como un conductor de derivación (descrito anteriormente). Por ejemplo, en la figura 2R, el conductor de derivación 40 proporciona una barrera que tiende a evitar que material de unión adhesivo conductor no curado en las placas de contacto 15 se esparza sobre el área activa de la superficie frontal de la celda solar. Se puede usar una disposición similar para los patrones de metalización de superficie trasera.

10 Las barreras para el esparcimiento del material de unión adhesivo conductor pueden estar espaciadas de las placas de contacto o las barras colectoras para formar un foso como se acaba de describir, pero esto no es necesario. En su lugar, dichas barreras pueden colindar con una placa de contacto o barra colectora, como se muestra en las figuras 2O o 2P, por ejemplo. En dichas variaciones, la barrera es preferentemente más alta que la placa de contacto o la barra colectora para retener el material de unión adhesivo conductor no curado sobre la placa de contacto o la barra colectora. Aunque las figuras 2O y 2P muestran porciones de un patrón de metalización de superficie frontal, se pueden usar disposiciones similares para los patrones de metalización de superficie trasera.

15 Las barreras para el esparcimiento de material de unión adhesivo conductor y/o los fosos entre dichas barreras y placas de contacto o barras colectoras, y cualquier material de unión adhesivo conductor que se haya esparcido dentro de dichos fosos, se pueden ubicar opcionalmente dentro de la región de la superficie de celda solar superpuesta por la celda solar contigua en la supercelda y, por tanto, quedar ocultas a la vista y protegidas de la exposición a la radiación solar.

20 De forma alternativa o además del uso de barreras como se acaba de describir, el material de unión eléctricamente conductor se puede depositar usando una máscara o mediante cualquier otro procedimiento adecuado (por ejemplo, serigrafía) que permita un depósito exacto y, por tanto, que requiera cantidades reducidas de material de unión eléctricamente conductor que tengan menor probabilidad de esparcirse más allá de las placas de contacto o que pasen por alto las placas de contacto durante su depósito.

Más en general, las celdas solares 10 pueden emplear cualquier patrón de metalización de superficie frontal y trasera adecuado.

30 La figura 4A muestra una porción de la superficie frontal de una supercelda rectangular 100 de ejemplo que comprende celdas solares 10 como se muestra en la figura 2A, dispuestas de manera solapada como se muestra en la figura 1. Como resultado de la geometría de solapamiento, no existe un hueco físico entre los pares de celdas solares 10. Además, aunque la barra colectora 15 de la celda solar 10 en un extremo de la supercelda 100 es visible, las barras colectoras (o placas de contacto de superficie frontal) de las otras celdas solares están ocultas debajo de porciones superpuestas de celdas solares contiguas. Como consecuencia, la supercelda 100 usa eficazmente el área que ocupa en un módulo solar. En particular, una porción mayor de esa área está disponible para producir electricidad que en el caso de disposiciones de celdas solares con lengüetas convencionales y disposiciones de celdas solares que incluyen numerosas barras colectoras visibles en la superficie iluminada de las celdas solares. Las figuras 4B-4C muestran vistas frontal y trasera, respectivamente, de otra supercelda 100 de ejemplo, que comprende, principalmente, celdas solares de silicio rectangulares en chevrón biseladas pero, de otro modo, similar a la de la figura 4A.

45 En el ejemplo ilustrado en la figura 4A, los conductores de derivación 40 están ocultos por porciones superpuestas de celdas contiguas. De forma alternativa, las celdas solares que comprenden conductores de derivación 40 se pueden superponer de forma similar a como se muestra en la figura 4A sin cubrir los conductores de derivación.

50 La barra colectora de superficie frontal expuesta 15 en un extremo de la supercelda 100 y la metalización de superficie trasera de la celda solar en el otro extremo de la supercelda 100 proporcionan contactos de extremo negativos y positivos (terminales) para la supercelda, que se pueden usar para conectar eléctricamente la supercelda 100 a otras superceldas y/o a otros componentes eléctricos según se desee.

Las celdas solares contiguas en la supercelda 100 se pueden superponer en cualquier cantidad adecuada, por ejemplo, en de 1 milímetro (mm) aproximadamente a 5 mm aproximadamente.

55 Como se muestra en las figuras 5A-5G, por ejemplo, las superceldas solapadas, como se acaba de describir, pueden llenar eficazmente el área de un módulo solar. Dichos módulos solares pueden ser cuadrados o rectangulares, por ejemplo. Los módulos solares rectangulares, como se ilustra en las figuras 5A-5G, pueden tener lados cortos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1 metro aproximadamente y lados largos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1,5 aproximadamente a 2,0 metros aproximadamente. También se pueden usar otras conformaciones y dimensiones adecuadas para los módulos solares. Se puede usar cualquier disposición adecuada de superceldas en un módulo solar.

- En un módulo solar cuadrado o rectangular, las superceldas se disponen típicamente en filas paralelas a los lados cortos o largos del módulo solar. Cada fila puede incluir una, dos o más superceldas dispuestas de extremo a extremo. Una supercelda 100 que forma parte de un módulo solar de este tipo puede incluir cualquier número adecuado de celdas solares 10 y tener cualquier longitud adecuada. En algunas variaciones, cada una de las superceldas 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados cortos de un módulo solar rectangular del que forman parte. En otras variaciones, cada una de las superceldas 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos de un módulo solar rectangular del que forman parte. En otras variaciones, cada una de las superceldas 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados largos de un módulo solar rectangular del que forman parte. En otras variaciones, cada una de las superceldas 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados largos de un módulo solar rectangular del que forman parte. El número de celdas solares requeridas para fabricar superceldas de estas longitudes depende, por supuesto, de las dimensiones del módulo solar, las dimensiones de las celdas solares y la cantidad en la que se superponen celdas solares contiguas. También se puede usar cualquier otra longitud adecuada para las superceldas.
- En variaciones en las que una supercelda 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados cortos de un módulo solar rectangular, la supercelda puede incluir, por ejemplo, 56 celdas solares rectangulares que tienen unas dimensiones de 19,5 milímetros (mm) aproximadamente por 156 mm aproximadamente, con celdas solares contiguas superpuestas unos 3 mm aproximadamente. Ocho de dichas celdas solares rectangulares se pueden separar de una oblea convencional cuadrada o pseudocuadrada de 156 mm. De forma alternativa, una supercelda de este tipo puede incluir, por ejemplo, 38 celdas solares rectangulares que tienen unas dimensiones de 26 mm aproximadamente por 156 mm aproximadamente, con celdas solares contiguas superpuestas unos 2 mm aproximadamente. Seis de dichas celdas solares rectangulares se pueden separar de una oblea convencional cuadrada o pseudocuadrada de 156 mm. En variaciones en las que una supercelda 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos de un módulo solar rectangular, la supercelda puede incluir, por ejemplo, 28 celdas solares rectangulares que tienen unas dimensiones de 19,5 milímetros (mm) aproximadamente por 156 mm aproximadamente, con celdas solares contiguas superpuestas unos 3 mm aproximadamente. De forma alternativa, una supercelda de este tipo puede incluir, por ejemplo, 19 celdas solares rectangulares que tienen unas dimensiones de 26 mm aproximadamente por 156 mm aproximadamente, con celdas solares contiguas superpuestas unos 2 mm aproximadamente.
- En variaciones en las que una supercelda 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados largos de un módulo solar rectangular, la supercelda puede incluir, por ejemplo, 72 celdas solares rectangulares que tienen unas dimensiones de 26 mm aproximadamente por 156 mm aproximadamente, con celdas solares contiguas superpuestas unos 2 mm aproximadamente. En variaciones en las que una supercelda 100 tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados largos de un módulo solar rectangular, la supercelda puede incluir, por ejemplo, 36 celdas solares rectangulares que tienen unas dimensiones de 26 mm aproximadamente por 156 mm aproximadamente, con celdas solares contiguas superpuestas unos 2 mm aproximadamente.
- La figura 5A muestra un módulo solar rectangular 200 de ejemplo que comprende veinte superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas de extremo a extremo en pares para formar diez filas de superceldas, con las filas y los lados largos de las superceldas orientados en paralelo a los lados cortos del módulo solar. En otras variaciones, cada fila de superceldas puede incluir tres o más superceldas. Además, un módulo solar configurado de forma similar puede incluir un número mayor o menor de filas de superceldas que las que se muestran en este ejemplo. (La figura 14A, por ejemplo, muestra un módulo solar que comprende veinticuatro superceldas rectangulares dispuestas en doce filas de dos superceldas cada una).
- El hueco 210 mostrado en la figura 5A facilita el contacto eléctrico con los contactos de extremo de superficie frontal (por ejemplo, barras colectoras expuestas o contactos discretos 15) de las superceldas 100 a lo largo de la línea central del módulo solar, en variaciones en las que las superceldas de cada fila están dispuestas de modo que al menos una de ellas tenga un contacto de extremo de superficie frontal en el extremo de la supercelda contigua a la otra supercelda de la fila. Por ejemplo, las dos superceldas de una fila pueden estar dispuestas con una supercelda que tenga su contacto de terminal de superficie frontal a lo largo de la línea central del módulo solar y con la otra supercelda que tenga su contacto de terminal de superficie trasera a lo largo de la línea central del módulo solar. En una disposición de este tipo, las dos superceldas de una fila se pueden conectar eléctricamente en serie mediante un interconector dispuesto a lo largo de la línea central del módulo solar y unido al contacto de terminal de superficie frontal de una supercelda y al contacto de terminal de superficie trasera de la otra supercelda. (Véase, por ejemplo, la figura 8C analizada a continuación). En variaciones en las que cada fila de superceldas incluye tres o más superceldas, pueden estar presentes huecos adicionales entre las superceldas y pueden facilitar de forma similar el contacto eléctrico con los contactos de extremo de superficie frontal que están localizados lejos de los lados del módulo solar.

La figura 5B muestra un módulo solar rectangular 300 de ejemplo que comprende diez superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados cortos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas en diez filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados cortos del módulo. Un módulo solar configurado de forma similar puede incluir un número mayor o menor de filas de dichas superceldas de longitud lateral que las que se muestran en este ejemplo.

La figura 5B también muestra el aspecto del módulo solar 200 de la figura 5A cuando no hay huecos entre superceldas contiguas en las filas de superceldas del módulo solar 200. El hueco 210 de la figura 5A se puede eliminar, por ejemplo, disponiendo las superceldas de modo que ambas superceldas de cada fila tengan sus contactos de extremo de superficie posterior a lo largo de la línea central del módulo. En este caso, las superceldas se pueden disponer casi colindando entre sí con poco o ningún hueco adicional entre las mismas porque no se requiere acceso a la superficie frontal de la supercelda a lo largo del centro del módulo. De forma alternativa, dos superceldas 100 de una fila se pueden disponer con una que tenga su contacto de extremo de superficie frontal a lo largo de un lado del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera a lo largo de la línea central del módulo, y con la otra que tenga su contacto de extremo de superficie frontal a lo largo de la línea central del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera a lo largo del lado opuesto del módulo, y con los extremos contiguos de las superceldas superpuestos. Un interconector flexible se puede intercalar entre los extremos superpuestos de las superceldas, sin dar sombra a ninguna porción de la superficie frontal del módulo solar, para proporcionar una conexión eléctrica al contacto de extremo de superficie frontal de una de las superceldas y al contacto de extremo de superficie trasera de la otra supercelda. En cuanto a las filas que contienen tres o más superceldas, estos dos enfoques se pueden usar de manera combinada.

Las superceldas y las filas de superceldas mostradas en las figuras 5A-5B se pueden interconectar mediante cualquier combinación adecuada de conexiones eléctricas en serie y en paralelo, por ejemplo como se describe más adelante con respecto a las figuras 10A-15. Las interconexiones entre superceldas se pueden realizar, por ejemplo, usando interconectores flexibles de forma similar a como se describe a continuación con respecto a las figuras 5C-5G y figuras posteriores. Como se demuestra por muchos de los ejemplos descritos en esta memoria descriptiva, las superceldas de los módulos solares descritos en el presente documento se pueden interconectar mediante una combinación de conexiones en serie y en paralelo para proporcionar un voltaje de salida para el módulo sustancialmente igual al de un módulo solar convencional. En dichos casos, la corriente de salida del módulo solar también puede ser sustancialmente igual a la de un módulo solar convencional. De forma alternativa, como se describe además a continuación, las superceldas de un módulo solar se pueden interconectar para proporcionar un voltaje de salida significativamente mayor desde el módulo solar que el proporcionado por módulos solares convencionales.

La figura 5C muestra un módulo solar rectangular 350 de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados largos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas en seis filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados largos del módulo. Un módulo solar configurado de forma similar puede incluir un número mayor o menor de filas de dichas superceldas de longitud lateral que las que se muestran en este ejemplo. Cada supercelda en este ejemplo (y en varios de los siguientes ejemplos) comprende 72 celdas solares rectangulares, teniendo cada una una anchura aproximadamente igual a 1/6 de la anchura de una oblea cuadrada o pseudocuadrada de 156 mm. También se puede usar cualquier otro número adecuado de celdas solares rectangulares de cualquier otra dimensión adecuada. En este ejemplo, los contactos de terminal de superficie frontal de las superceldas están conectados eléctricamente entre sí con interconectores flexibles 400 situados contiguos a y que discurren paralelos al borde de un lado corto del módulo. Los contactos de terminal de superficie trasera de las superceldas están conectados entre sí de forma similar mediante interconectores flexibles situados contiguos a y que discurren paralelos al borde del otro lado corto, detrás del módulo solar. Los interconectores de superficie trasera quedan ocultos a la vista en la figura 5C. Esta disposición conecta eléctricamente las seis superceldas de longitud de módulo en paralelo. Los detalles de los interconectores flexibles y su disposición en esta y otras configuraciones de módulo solar se analizan con más detalle a continuación con respecto a las figuras 6-8G.

La figura 5D muestra un módulo solar rectangular 360 de ejemplo que comprende doce superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados largos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas de extremo a extremo en pares para formar seis filas de superceldas, con las filas y los lados largos de las superceldas orientados en paralelo a los lados largos del módulo solar. En otras variaciones, cada fila de superceldas puede incluir tres o más superceldas. Además, un módulo solar configurado de forma similar puede incluir un número mayor o menor de filas de superceldas que las que se muestran en este ejemplo. Cada supercelda en este ejemplo (y en varios de los siguientes ejemplos) comprende 36 celdas solares rectangulares, teniendo cada una una anchura aproximadamente igual a 1/6 de la anchura de una oblea cuadrada o pseudocuadrada de 156 mm. También se puede usar cualquier otro número adecuado de celdas solares rectangulares de cualquier otra dimensión adecuada. El hueco 410 facilita el contacto eléctrico con los contactos de extremo de superficie frontal de las superceldas 100 a lo largo de la línea central del módulo solar. En este ejemplo, interconectores flexibles 400

situados contiguos a y que discurren paralelos al borde de un lado corto del módulo interconectan eléctricamente los contactos de terminal de superficie frontal de seis de las superceldas. De forma similar, los interconectores flexibles situados contiguos a y que discurren paralelos al borde del otro lado corto del módulo detrás del módulo conectan eléctricamente los contactos de terminal de superficie trasera de las otras seis superceldas. Los interconectores flexibles (no mostrados en esta figura) situados a lo largo del hueco 410 interconectan cada par de superceldas de una fila en serie y, opcionalmente, se extienden lateralmente para interconectar filas contiguas en paralelo. Esta disposición conecta eléctricamente las seis filas de superceldas en paralelo. Opcionalmente, en un primer grupo de superceldas, la primera supercelda de cada fila está conectada eléctricamente en paralelo con la primera supercelda de cada una de las otras filas; en un segundo grupo de superceldas, la segunda supercelda está conectada eléctricamente en paralelo con la segunda supercelda de cada una de las otras filas, y los dos grupos de superceldas están conectados eléctricamente en serie. La segunda disposición permite que cada uno de los dos grupos de superceldas se pongan individualmente en paralelo con un diodo de derivación.

El detalle A de la figura 5D identifica la localización de una vista en sección transversal mostrada en la figura 8A de la interconexión de los contactos de terminal de superficie trasera de las superceldas a lo largo del borde de un lado corto del módulo. El detalle B identifica de forma similar la localización de una vista en sección transversal mostrada en la figura 8B de la interconexión de los contactos de terminal de superficie frontal de superceldas a lo largo del borde del otro lado corto del módulo. El detalle C identifica la localización de una vista en sección transversal mostrada en la figura 8C de la interconexión en serie de las superceldas dentro de una fila a lo largo del hueco 410.

La figura 5E muestra un módulo solar rectangular 370 de ejemplo configurado de forma similar a la de la figura 5C, excepto que en este ejemplo todas las celdas solares a partir de las que se forman las superceldas son celdas solares en chevrón que tienen esquinas biseladas correspondientes a esquinas de obleas pseudocuadradas de las que se separaron las celdas solares.

La figura 5F muestra otro módulo solar rectangular 380 de ejemplo configurado de forma similar a la de la figura 5C, excepto que en este ejemplo las celdas solares a partir de las que se forman las superceldas comprenden una mezcla de celdas solares rectangulares y en chevrón dispuestas para reproducir las conformaciones de las obleas pseudocuadradas de las que se separaron. En el ejemplo de la figura 5F, las celdas solares en chevrón pueden ser más anchas de forma perpendicular a sus ejes largos que las celdas solares rectangulares para compensar las esquinas que faltan en las celdas en chevrón, de modo que las celdas solares en chevrón y las celdas solares rectangulares tengan la misma área activa expuesta a la radiación solar durante el funcionamiento del módulo y, por lo tanto, la misma corriente.

La figura 5G muestra otro módulo solar rectangular de ejemplo configurado de forma similar a la de la figura 5E (es decir, que incluye solo celdas solares en chevrón), excepto que en el módulo solar de la figura 5G, las celdas solares en chevrón contiguas de una supercelda están dispuestas como imágenes especulares entre sí, de modo que sus bordes superpuestos tienen la misma longitud. Esto maximiza la longitud de cada juntura superpuesta y, de este modo, facilita el flujo de calor a través de la supercelda.

Otras configuraciones de módulos solares rectangulares pueden incluir una o más filas de superceldas formadas solo a partir de celdas solares rectangulares (no biseladas), y una o más filas de superceldas formadas solo a partir de celdas solares biseladas. Por ejemplo, un módulo solar rectangular se puede configurar de forma similar a la de la figura 5C, excepto que las dos filas exteriores de superceldas se reemplazan cada una por una fila de superceldas formadas solo a partir de celdas solares biseladas. Las celdas solares biseladas de esas filas se pueden disponer en pares de imágenes especulares como se muestra en la figura 5G, por ejemplo.

En los módulos solares de ejemplo mostrados en las figuras 5C-5G, la corriente eléctrica a lo largo de cada fila de superceldas es aproximadamente 1/6 de la de un módulo solar convencional de la misma área porque las celdas solares rectangulares a partir de las que se forman las superceldas tienen un área activa de aproximadamente 1/6 de la de una celda solar de tamaño convencional. Sin embargo, debido a que en estos ejemplos las seis filas de superceldas están conectadas eléctricamente en paralelo, los módulos solares de ejemplo pueden generar una corriente eléctrica total igual a la generada por un módulo solar convencional de la misma área. Esto facilita la subestación de los módulos solares de ejemplo de las figuras 5C-5G (y de otros ejemplos descritos a continuación) para módulos solares convencionales.

La figura 6 muestra con más detalle que las figuras 5C-5G una disposición de ejemplo de tres filas de superceldas interconectadas con interconectores eléctricos flexibles para colocar las superceldas de cada fila en serie entre sí y para colocar las filas en paralelo entre sí. Estas pueden ser tres filas en el módulo solar de la figura 5D, por ejemplo. En el ejemplo de la figura 6, cada supercelda 100 tiene un interconector flexible 400 unido de forma conductora a su contacto de terminal de superficie frontal, y otro interconector flexible unido de forma conductora a su contacto de

terminal de superficie trasera. Las dos superceldas de cada fila están conectadas eléctricamente en serie mediante un interconector flexible compartido unido de forma conductora al contacto de terminal de superficie frontal de una supercelda y al contacto de terminal de superficie trasera de la otra supercelda. Cada interconector flexible está situado contiguo a y discurre paralelo a un extremo de una supercelda a la que está unido, y se puede extender lateralmente más allá de la supercelda para unirse de forma conductora a un interconector flexible en una supercelda de una fila contigua, conectando eléctricamente las filas contiguas en paralelo. Las líneas discontinuas de la figura 6 representan porciones de los interconectores flexibles que quedan ocultas a la vista por porciones suprayacentes de las superceldas, o porciones de las superceldas que quedan ocultas a la vista por porciones suprayacentes de los interconectores flexibles.

Los interconectores flexibles 400 se pueden unir de forma conductora a las superceldas con, por ejemplo, un material de unión eléctricamente conductor con resiliencia mecánica, como se describe anteriormente para su uso en la unión de celdas solares superpuestas. Opcionalmente, el material de unión eléctricamente conductor puede estar localizado solo en posiciones discretas a lo largo de los bordes de la supercelda en lugar de en una línea continua que se extiende sustancialmente a lo largo del borde de la supercelda, para reducir o acomodar la tensión paralela a los bordes de la supercelda que surge de la discrepancia entre el coeficiente de expansión térmica del material de unión eléctricamente conductor o los interconectores y el de la supercelda.

Los interconectores flexibles 400 se pueden formar a partir de o comprender láminas de cobre delgadas, por ejemplo. Opcionalmente, se pueden formar patrones en los interconectores flexibles 400 o se pueden configurar de otro modo para incrementar su resiliencia mecánica (flexibilidad) tanto de forma perpendicular como paralela a los bordes de las superceldas para reducir o acomodar la tensión perpendicular y paralela a los bordes de las superceldas que surge de la discrepancia entre el CTE del interconector y el de las superceldas. Dicha formación de patrones puede incluir, por ejemplo, hendiduras, ranuras u orificios. Las porciones conductoras de los interconectores 400 pueden tener un grosor de, por ejemplo, menos de 100 micrómetros aproximadamente, menos de 50 micrómetros aproximadamente, menos de 30 micrómetros aproximadamente o menos de 25 micrómetros aproximadamente para incrementar la flexibilidad de los interconectores. La resiliencia mecánica del interconector flexible, y sus uniones a las superceldas, debe ser suficiente para que las superceldas interconectadas resistan la tensión que surge de la discrepancia de CTE durante el proceso de laminación descrito con más detalle a continuación con respecto a procedimientos de fabricación de módulos de celdas solares solapadas, y para que resistan la tensión que surge de la discrepancia de CTE durante las pruebas de ciclos de temperatura de entre -40 °C aproximadamente y 85 °C aproximadamente.

Preferentemente, los interconectores flexibles 400 presentan una resistencia al flujo de corriente paralelo a los extremos de las superceldas a las que están unidos inferior o igual a 0,015 ohmios aproximadamente, inferior o igual a 0,012 ohmios aproximadamente, o inferior o igual a 0,01 ohmios aproximadamente.

La figura 7A muestra varias configuraciones de ejemplo, designadas por los números de referencia 400A-400T, que pueden ser adecuadas para el interconector flexible 400.

Como se muestra en las vistas en sección transversal de las figuras 8A-8C, por ejemplo, los módulos solares descritos en esta memoria descriptiva comprenden típicamente una estructura laminada con superceldas y uno o más materiales encapsulantes 4101 intercalados entre una lámina frontal transparente 420 y una lámina posterior 430. La lámina frontal transparente puede ser de vidrio, por ejemplo. Opcionalmente, la lámina posterior también puede ser transparente, lo que puede permitir el funcionamiento bifacial del módulo solar. La lámina posterior puede ser una lámina de polímero, por ejemplo. De forma alternativa, el módulo solar puede ser un módulo de vidrio-vidrio con láminas de vidrio tanto frontal como posterior.

La vista en sección transversal de la figura 8A (detalle A de la figura 5D) muestra un ejemplo de un interconector flexible 400 unido de forma conductora a un contacto de terminal de superficie trasera de una supercelda cerca del borde del módulo solar y que se extiende hacia adentro por debajo de la supercelda, oculto a la vista desde la parte frontal del módulo solar. Se puede disponer una tira adicional de encapsulante entre el interconector 400 y la superficie trasera de la supercelda, como se ilustra.

La vista en sección transversal de la figura 8B (detalle B de la figura 5B) muestra un ejemplo de un interconector flexible 400 unido de forma conductora a un contacto de terminal de superficie frontal de una supercelda.

La vista en sección transversal de la figura 8C (detalle C de la figura 5B) muestra un ejemplo de un interconector flexible compartido 400 unido de forma conductora al contacto de terminal de superficie frontal de una supercelda y al contacto de terminal de superficie trasera de la otra supercelda para conectar eléctricamente las dos superceldas en serie.

Los interconectores flexibles conectados eléctricamente al contacto de terminal de superficie frontal de una supercelda

se pueden configurar o disponer para ocupar solo una anchura estrecha de la superficie frontal del módulo solar, que puede, por ejemplo, estar localizada de forma contigua a un borde del módulo solar. La región de la superficie frontal del módulo ocupada por dichos interconectores puede tener una anchura estrecha perpendicular al borde de la supercelda de, por ejemplo, ≤ 10 mm aproximadamente, ≤ 5 mm aproximadamente o ≤ 3 mm aproximadamente. En la disposición mostrada en la figura 8B, por ejemplo, el interconector flexible 400 se puede configurar para extenderse más allá del extremo de la supercelda en no más de dicha distancia. Las figuras 8D-8G muestran ejemplos adicionales de disposiciones mediante las que un interconector flexible conectado eléctricamente a un contacto de terminal de superficie frontal de una supercelda puede ocupar solo una anchura estrecha de la superficie frontal del módulo. Dichas disposiciones facilitan el uso eficaz del área de superficie frontal del módulo para producir electricidad.

La figura 8D muestra un interconector flexible 400 que está unido de forma conductora a un contacto de superficie frontal de terminal de una supercelda y doblado alrededor del borde de la supercelda hacia la parte trasera de la supercelda. Una película aislante 435, que se puede recubrir previamente en el interconector flexible 400, se puede disponer entre el interconector flexible 400 y la superficie trasera de la supercelda.

La figura 8E muestra un interconector flexible 400 que comprende una banda delgada y estrecha 440 que está unida de forma conductora a un contacto de superficie frontal de terminal de una supercelda y también a una banda 445 delgada y ancha que se extiende detrás de la superficie trasera de la supercelda. Una película aislante 435, que se puede recubrir previamente en la banda 445, se puede disponer entre la banda 445 y la superficie trasera de la supercelda.

La figura 8F muestra un interconector flexible 400 unido a un contacto de superficie frontal de terminal de una supercelda y enrollado y prensado en una bobina aplanada que ocupa solo una anchura estrecha de la superficie frontal del módulo solar.

La figura 8G muestra un interconector flexible 400 que comprende una sección de banda delgada que está unida de forma conductora a un contacto de superficie frontal de terminal de una supercelda y una porción de sección transversal gruesa localizada de forma contigua a la supercelda.

En las figuras 8A-8G, los interconectores flexibles 400 se pueden extender a lo largo de toda la longitud de los bordes de las superceldas (por ejemplo, hacia el interior de la página de los dibujos) como se muestra en la figura 6, por ejemplo.

Opcionalmente, las porciones de un interconector flexible 400 que, de otro modo, son visibles desde la parte frontal del módulo, se pueden cubrir con una película o recubrimiento oscuros o colorearse de otro modo para reducir el contraste visible entre el interconector y la supercelda, como se percibe por una persona que ve los colores con normalidad. Por ejemplo, en la figura 8C, la película o recubrimiento negros opcionales 425 cubren porciones del interconector 400 que, de otro modo, serían visibles desde la parte frontal del módulo. De otro modo, las porciones visibles del interconector 400 que se muestran en las otras figuras se pueden cubrir o colorear de forma similar.

Los módulos solares convencionales incluyen típicamente tres o más diodos de derivación, con cada diodo de derivación conectado en paralelo con un grupo conectado en serie de 18-24 celdas solares de silicio. Esto se hace para limitar la cantidad de potencia que se puede disipar como calor en una celda solar con polarización inversa. Una celda solar puede pasar a tener una polarización inversa, por ejemplo, debido a un defecto, una superficie frontal sucia o una iluminación desigual que reduce su capacidad de dejar pasar la corriente generada en la cadena. El calor generado en una celda solar en polarización inversa depende del voltaje a través de la celda solar y de la corriente a través de la celda solar. Si el voltaje a través de la celda solar con polarización inversa excede el voltaje disruptivo de la celda solar, el calor disipado en la celda será igual al voltaje disruptivo multiplicado por la corriente total generada en la cadena. Las celdas solares de silicio tienen típicamente un voltaje disruptivo de 16-30 voltios. Debido a que cada celda solar de silicio produce un voltaje de aproximadamente 0,64 voltios durante el funcionamiento, una cadena de más de 24 celdas solares podría producir un voltaje a través de una celda solar con polarización inversa que exceda el voltaje disruptivo.

En módulos solares convencionales en los que las celdas solares están espaciadas entre sí e interconectadas con bandas, el calor no se transporta fácilmente lejos de una celda solar caliente. En consecuencia, la potencia disipada en una celda solar con el voltaje disruptivo podría producir un punto crítico en la celda solar que provoque un daño térmico significativo y, tal vez, un incendio. En módulos solares convencionales se requiere, por lo tanto, un diodo de derivación para cada grupo de 18-24 celdas solares conectadas en serie para garantizar que ninguna celda solar de la cadena se pueda polarizar inversamente por encima del voltaje disruptivo.

Los solicitantes han descubierto que el calor se transporta fácilmente a lo largo de una supercelda de silicio a través

de las delgadas uniones eléctrica y térmicamente conductoras entre celdas solares de silicio superpuestas contiguas. Además, la corriente a través de una supercelda en los módulos solares descritos en el presente documento es típicamente menor que a través de una cadena de celdas solares convencionales, porque las superceldas descritas en el presente documento están formadas típicamente por celdas solares rectangulares solapadas, de las que cada una tiene un área activa menor que (por ejemplo, 1/6) la de una celda solar convencional. Además, la proporción de aspecto rectangular de las celdas solares empleadas típicamente en el presente documento proporciona regiones ampliadas de contacto térmico entre celdas solares contiguas. Como consecuencia, se disipa menos calor en una celda solar con polarización inversa en el voltaje disruptivo, y el calor se propaga fácilmente a través de la supercelda y el módulo solar sin crear un punto crítico peligroso. Por lo tanto, los solicitantes han reconocido que los módulos solares formados a partir de superceldas, como se describe en el presente documento, pueden emplear muchos menos diodos de derivación de los que se creía convencionalmente que eran necesarios.

Por ejemplo, en algunas variaciones de módulos solares como se describe en el presente documento, una supercelda que comprende $N > 25$ celdas solares, $N \geq 30$ celdas solares aproximadamente, $N \geq 50$ celdas solares aproximadamente, $N \geq 70$ celdas solares aproximadamente o $N \geq 100$ celdas solares aproximadamente se puede emplear sin ninguna celda solar o grupo de $< N$ celdas solares en la supercelda conectadas eléctricamente de forma individual en paralelo con un diodo de derivación. Opcionalmente, una supercelda completa de estas longitudes se puede conectar eléctricamente en paralelo con un único diodo de derivación. Opcionalmente, se pueden emplear superceldas de estas longitudes sin un diodo de derivación.

Varios rasgos característicos de diseño adicionales y opcionales pueden hacer que los módulos solares que emplean superceldas como se describe en el presente documento sean incluso más tolerantes al calor disipado en una celda solar con polarización inversa. En referencia de nuevo a las figuras 8A-8C, el encapsulante 4101 puede ser o comprender un polímero de olefina termoplástica (TPO); los encapsulantes de TPO son más estables, desde un punto de vista fototérmico, que los encapsulantes estándar de etileno-acetato de vinilo (EVA). El compuesto EVA se oscurece con la temperatura y la luz ultravioleta y dará lugar a problemas de puntos críticos creados por las celdas limitadoras de corriente. Estos problemas se reducen o evitan con el encapsulante de TPO. Además, los módulos solares pueden tener una estructura de vidrio-vidrio en la que tanto la lámina frontal transparente 420 como la lámina posterior 430 son de vidrio. Una estructura de vidrio-vidrio de este tipo posibilita que el módulo solar funcione de manera segura a temperaturas superiores a las toleradas por una lámina posterior de polímero convencional. Todavía más, las cajas de conexiones se pueden montar en uno o más bordes de un módulo solar, en lugar de detrás del módulo solar donde una caja de conexiones añadiría una capa adicional de aislamiento térmico a las celdas solares del módulo por encima del mismo.

La figura 9A muestra un módulo solar rectangular de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Las seis superceldas están conectadas eléctricamente en paralelo entre sí y con un diodo de derivación dispuesto en una caja de conexiones 490 en la superficie trasera del módulo solar. Las conexiones eléctricas entre las superceldas y el diodo de derivación se realizan a través de bandas 450 incrustadas en la estructura laminada del módulo.

La figura 9B muestra otro módulo solar rectangular de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Las superceldas están conectadas eléctricamente en paralelo entre sí. Cajas de conexiones de terminales positivos 490P y negativos 490N separadas están dispuestas en la superficie trasera del módulo solar en extremos opuestos del módulo solar. Las superceldas están conectadas eléctricamente en paralelo con un diodo de derivación localizado en una de las cajas de conexiones mediante un cable externo 455 que discurre entre las cajas de conexiones.

Las figuras 9C-9D muestran un módulo solar rectangular de vidrio-vidrio de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares solapadas dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar en una estructura de laminación que comprende láminas frontal y posterior de vidrio. Las superceldas están conectadas eléctricamente en paralelo entre sí. Las cajas de conexiones de terminales positivos 490P y negativos 490N separadas están montadas en bordes opuestos del módulo solar.

Las superceldas solapadas ofrecen oportunidades únicas para el diseño de módulos con respecto a los dispositivos de gestión de potencia a nivel de módulo (por ejemplo, microinversores de CC/CA, optimizadores de potencia de módulos de CC/CC, conmutadores inteligentes y de inteligencia de voltaje, y dispositivos relacionados). El rasgo característico clave de los sistemas de gestión de potencia a nivel de módulo es la optimización de potencia. Las superceldas, como se describen y emplean en el presente documento, pueden producir voltajes mayores que los paneles tradicionales. Además, el diseño de módulos de superceldas puede dividir aún más el módulo. Tanto los voltajes mayores como el incremento de la división crean ventajas potenciales para la optimización de la potencia.

La figura 9E muestra una arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo usando superceldas solapadas. En esta figura, un módulo solar rectangular de ejemplo comprende seis superceldas rectangulares solapadas dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Tres pares de superceldas están conectadas individualmente a un sistema de gestión de potencia 460, lo que posibilita una optimización de potencia más discreta del módulo.

La figura 9F muestra otra arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo usando superceldas solapadas. En esta figura, un módulo solar rectangular de ejemplo comprende seis superceldas rectangulares solapadas dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Las seis superceldas están conectadas individualmente a un sistema de gestión de potencia 460, lo que posibilita una optimización de potencia aún más discreta del módulo.

La figura 9G muestra otra arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo usando superceldas solapadas. En esta figura, un módulo solar rectangular de ejemplo comprende seis o más superceldas rectangulares solapadas 998 dispuestas en seis o más filas, donde los tres o más pares de superceldas están conectados individualmente a un diodo de derivación o a un sistema de gestión de potencia 460, para permitir una optimización de potencia aún más discreta del módulo.

La figura 9H muestra otra arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo usando superceldas solapadas. En esta figura, un módulo solar rectangular de ejemplo comprende seis o más superceldas rectangulares solapadas 998 dispuestas en seis o más filas, donde cada dos superceldas están conectadas en serie y todos los pares están conectados en paralelo. Un diodo de derivación o sistema de gestión de potencia 460 está conectado en paralelo a todos los pares, lo que permite la optimización de potencia del módulo.

En algunas variaciones, la gestión de potencia a nivel de módulo permite la eliminación de todos los diodos de derivación en el módulo solar al mismo tiempo que excluye el riesgo de puntos críticos. Esto se logra integrando la inteligencia de voltaje a nivel de módulo. Supervisando la salida de voltaje de un circuito de celda solar (por ejemplo, una o más superceldas) en el módulo solar, un dispositivo de gestión de potencia de "conmutador inteligente" puede determinar si ese circuito incluye alguna celda solar en polarización inversa. Si se detecta una celda solar con polarización inversa, el dispositivo de gestión de potencia puede desconectar el circuito correspondiente del sistema eléctrico usando, por ejemplo, un conmutador de relé u otro componente. Por ejemplo, si el voltaje de un circuito de celda solar supervisado cae por debajo de un umbral predeterminado ($V_{Límite}$), entonces el dispositivo de gestión de potencia apagará (abrirá el circuito) ese circuito al tiempo que se asegura de que el módulo o la cadena de módulos permanezcan conectados.

En determinados modos de realización, si un voltaje de los circuitos cae en más de un determinado porcentaje o magnitud (por ejemplo, 20 % o 10 V) con respecto a los otros circuitos en la misma matriz solar, se apagará. Los componentes electrónicos detectarán este cambio basándose en la comunicación entre módulos.

La implementación de dicha inteligencia de voltaje se puede incorporar en soluciones de gestión de potencia a nivel de módulo existentes (por ejemplo, de Enphase Energy Inc., Solaredge Technologies, Inc., Tigo Energy, Inc.) o a través de un diseño de circuito personalizado.

Un ejemplo de cómo se puede calcular el voltaje umbral $V_{Límite}$ es:

$$V_{caCelda} \text{ a baja irr y alta temp} \times N_{\text{número de celdas en serie}} - V_{rb_{\text{voltaje disruptivo inversa}}} \leq V_{Límite},$$

donde:

- $V_{caCelda} \text{ a baja irr y alta temp}$ = voltaje de circuito abierto de una celda que funciona con baja irradiación y a alta temperatura (V_{ca} de funcionamiento más bajo esperado);
- $N_{\text{número de celdas en serie}}$ = número de celdas conectadas en serie en cada supercelda supervisada.
- $V_{rb_{\text{voltaje disruptivo inversa}}}$ = voltaje de polaridad inversa necesario para hacer pasar corriente a través de una celda.

Este enfoque para la gestión de potencia a nivel de módulo usando un conmutador inteligente puede permitir, por ejemplo, que más de 100 celdas solares de silicio se conecten en serie dentro de un único módulo sin afectar a la seguridad o la fiabilidad del módulo. Además, un conmutador inteligente de este tipo se puede usar para limitar el voltaje de cadena destinado a un inversor central. Por lo tanto, se pueden instalar cadenas de módulos más largas sin

preocupaciones de seguridad o permisos con respecto a la sobretensión. El módulo más débil se puede eludir (apagar) si los voltajes de cadena alcanzan el límite.

5 Las figuras 10A, 11A, 12A, 13A, 13B y 14B descritas a continuación proporcionan circuitos eléctricos esquemáticos de ejemplo adicionales para módulos solares que emplean superceldas solapadas. Las figuras 10B-1, 10B-2, 11B-1, 11B-2, 11C-1, 11C-2, 12B-1, 12B-2, 12C-1, 12C-2, 12C-3, 13C-1, 13C-2, 14C-1 y 14C-2 proporcionan diseños físicos de ejemplo correspondientes a esos circuitos esquemáticos. La descripción de los diseños físicos supone que el contacto de extremo de superficie frontal de cada supercelda es de polaridad negativa y que el contacto de extremo de superficie trasera de cada supercelda es de polaridad positiva. Si, en su lugar, los módulos emplean superceldas que tienen
10 contactos de extremo de superficie frontal de polaridad positiva y contactos de extremo de superficie trasera de polaridad negativa, entonces el análisis de los diseños físicos a continuación se puede modificar intercambiando positivo por negativo e invirtiendo la orientación de los diodos de derivación. Algunos de los diversos buses a los que se hace referencia en la descripción de estas figuras se pueden formar, por ejemplo, con los interconectores 400 descritos anteriormente. Otros buses descritos en estas figuras se pueden implementar, por ejemplo, con bandas
15 incrustadas en la estructura laminada del módulo solar o con cables externos.

La figura 10A muestra un circuito eléctrico esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5B, en el que el módulo solar incluye diez superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados cortos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas en el
20 módulo solar con sus lados largos orientados en paralelo a los lados cortos del módulo. Todas las superceldas están conectadas eléctricamente en paralelo con un diodo de derivación 480.

Las figuras 10B-1 y 10B-2 muestran un diseño físico de ejemplo para el módulo solar de la figura 10A. El bus 485N conecta los contactos de extremo negativos (superficie frontal) de las superceldas 100 al terminal positivo del diodo de derivación 480 de la caja de conexiones 490 localizada en la superficie trasera del módulo. El bus 485P conecta los
25 contactos de extremo positivos (superficie trasera) de las superceldas 100 al terminal negativo del diodo de derivación 480. El bus 485P puede estar, en su totalidad, detrás de las superceldas. El bus 485N y/o su interconexión con las superceldas ocupan una porción de la superficie frontal del módulo.

30 La figura 11A muestra un circuito eléctrico esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A, en el que el módulo solar incluye veinte superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos del módulo solar, y las superceldas están dispuestas de extremo a extremo en pares para formar diez filas de superceldas. La primera supercelda de cada fila está conectada en paralelo con las primeras superceldas de las otras filas y en paralelo con un diodo de derivación 500. La segunda
35 supercelda de cada fila está conectada en paralelo con las segundas superceldas de las otras filas y en paralelo con un diodo de derivación 510. Los dos grupos de superceldas están conectados en serie, al igual que los dos diodos de derivación.

Las figuras 11B-1 y 11B-2 muestran un diseño físico de ejemplo para el módulo solar de la figura 11A. En este diseño, la primera supercelda de cada fila tiene su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de un primer
40 lado del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de la línea central del módulo, y la segunda supercelda de cada fila tiene su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de la línea central del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de un segundo lado del módulo opuesto al primer lado. El bus 515N conecta el contacto de extremo de superficie frontal (negativo) de la primera
45 supercelda de cada fila al terminal positivo del diodo de derivación 500. El bus 515P conecta el contacto de extremo de superficie trasera (positivo) de la segunda supercelda de cada fila al terminal negativo del diodo de derivación 510. El bus 520 conecta el contacto de extremo de superficie trasera (positivo) de la primera supercelda de cada fila y el contacto de extremo de superficie frontal (negativo) de la segunda supercelda de cada fila al terminal negativo del diodo de derivación 500 y al terminal positivo del diodo de derivación 510.

50 El bus 515P puede estar, en su totalidad, detrás de las superceldas. El bus 515N y/o su interconexión con las superceldas ocupan una porción de la superficie frontal del módulo. El bus 520 puede ocupar una porción de la superficie frontal del módulo, lo que requiere un hueco 210 como se muestra en la figura 5A. De forma alternativa, el bus 520 puede estar, en su totalidad, detrás de las superceldas y estar conectado eléctricamente a las superceldas
55 con interconectores ocultos intercalados entre extremos superpuestos de las superceldas. En un caso de este tipo, se requiere un pequeño o ningún hueco 210.

Las figuras 11C-1, 11C-2 y 11C-3 muestran otro diseño físico de ejemplo para el módulo solar de la figura 11A. En este
60 diseño, la primera supercelda de cada fila tiene su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de un primer lado del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de la línea central del módulo, y la segunda supercelda de cada fila tiene su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de la línea

- central del módulo y su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de un segundo lado del módulo opuesto al primer lado. El bus 525N conecta el contacto de extremo de superficie frontal (negativo) de la primera supercelda de cada fila al terminal positivo del diodo de derivación 500. El bus 530N conecta el contacto de extremo de superficie frontal (negativo) de la segunda celda de cada fila al terminal negativo del diodo de derivación 500 y al terminal positivo del diodo de derivación 510. El bus 535P conecta el contacto de extremo de superficie trasera (positivo) de la primera celda de cada fila al terminal negativo del diodo de derivación 500 y al terminal positivo del diodo de derivación 510. El bus 540P conecta el contacto de extremo de superficie trasera (positivo) de la segunda celda de cada fila al terminal negativo del diodo de derivación 510.
- El bus 535P y el bus 540P pueden estar, en su totalidad, detrás de las superceldas. El bus 525N y el bus 530N y/o su interconexión con las superceldas ocupan una porción de la superficie frontal del módulo.
- La figura 12A muestra otro diagrama de circuito esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A, en el que el módulo solar incluye veinte superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos del módulo solar, y las superceldas están dispuestas de extremo a extremo en pares para formar diez filas de superceldas. En el circuito mostrado en la figura 12A, las superceldas están dispuestas en cuatro grupos: en un primer grupo, las primeras superceldas de las cinco filas superiores están conectadas en paralelo entre sí y con un diodo de derivación 545; en un segundo grupo, las segundas superceldas de las cinco filas superiores están conectadas en paralelo entre sí y con un diodo de derivación 505; en un tercer grupo, las primeras superceldas de las cinco filas inferiores están conectadas en paralelo entre sí y con un diodo de derivación 560; y en un cuarto grupo, las segundas superceldas de las cinco filas inferiores están conectadas en paralelo entre sí y con un diodo de derivación 555. Los cuatro grupos de superceldas están conectados en serie entre sí. Los cuatro diodos de derivación también están en serie.
- Las figuras 12B-1 y 12B-2 muestran un diseño físico de ejemplo para el módulo solar de la figura 12A. En este diseño, el primer grupo de superceldas tiene sus contactos de extremo de superficie frontal (negativos) a lo largo de un primer lado del módulo y sus contactos de extremo de superficie trasera (positivos) a lo largo de la línea central del módulo; el segundo grupo de superceldas tiene sus contactos de extremo de superficie frontal (negativos) a lo largo de la línea central del módulo y sus contactos de extremo de superficie trasera (positivos) a lo largo de un segundo lado del módulo opuesto al primer lado; el tercer grupo de superceldas tiene sus contactos de extremo de superficie trasera (positivos) a lo largo del primer lado del módulo y sus contactos de extremo de superficie frontal (negativos) a lo largo de la línea central del módulo; y el cuarto grupo de superceldas tiene su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de la línea central del módulo y su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo del segundo lado del módulo.
- El bus 565N conecta los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) de las superceldas del primer grupo de superceldas entre sí y al terminal positivo del diodo de derivación 545. El bus 570 conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) de las superceldas del primer grupo de superceldas y los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) de las superceldas del segundo grupo de superceldas entre sí, al terminal negativo del diodo de derivación 545 y al terminal positivo del diodo de derivación 550. El bus 575 conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) de las superceldas del segundo grupo de superceldas y los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) de las superceldas del cuarto grupo de superceldas entre sí, al terminal negativo del diodo de derivación 550 y al terminal positivo del diodo de derivación 555. El bus 580 conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) de las superceldas del cuarto grupo de superceldas y los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) de las superceldas del tercer grupo de superceldas entre sí, al terminal negativo del diodo de derivación 555 y al terminal positivo del diodo de derivación 560. El bus 585P conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) de las superceldas del tercer grupo de superceldas entre sí y al terminal negativo del diodo de derivación 560.
- El bus 585P y la porción del bus 575 que se conecta a las superceldas del segundo grupo de superceldas pueden estar, en su totalidad, detrás de las superceldas. La porción restante del bus 575 y el bus 565N y/o su interconexión con las superceldas ocupan una porción de la superficie frontal del módulo.
- El bus 570 y el bus 580 pueden ocupar una porción de la superficie frontal del módulo, lo que requiere un hueco 210 como se muestra en la figura 5A. De forma alternativa, pueden estar, en su totalidad, detrás de las superceldas y estar conectados eléctricamente a las superceldas con interconectores ocultos intercalados entre extremos superpuestos de las superceldas. En un caso de este tipo, se requiere un pequeño o ningún hueco 210.
- Las figuras 12C-1, 12C-2 y 12C-3 muestran un diseño físico alternativo para el módulo solar de la figura 12A. Este diseño usa dos cajas de conexiones 490A y 490B en lugar de la única caja de conexiones 490 mostrada en las figuras 12B-1 y 12B-2, pero, de otro modo, es equivalente al de las figuras 12B-1 y 12B-2.

La figura 13A muestra otro diagrama de circuito esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5A, en el que el módulo solar incluye veinte superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos del módulo solar, y las superceldas están dispuestas de extremo a extremo en pares para formar diez filas de superceldas. En el circuito mostrado en la figura 13A, las superceldas están dispuestas en cuatro grupos: en un primer grupo, las primeras superceldas de las cinco filas superiores están conectadas en paralelo entre sí; en un segundo grupo, las segundas superceldas de las cinco filas superiores están conectadas en paralelo entre sí; en un tercer grupo, las primeras superceldas de las cinco filas inferiores están conectadas en paralelo entre sí; y en un cuarto grupo, las segundas superceldas de las cinco filas inferiores están conectadas en paralelo entre sí. El primer grupo y el segundo grupo están conectados en serie entre sí y, por tanto, están conectados en paralelo con un diodo de derivación 590. El tercer grupo y el cuarto grupo están conectados en serie entre sí y, por tanto, están conectados en paralelo con otro diodo de derivación 595. Los primer y segundo grupos están conectados en serie con los tercer y cuarto grupos, y los dos diodos de derivación también están en serie.

Las figuras 13C-1 y 13C-2 muestran un diseño físico de ejemplo para el módulo solar de la figura 13A. En este diseño, el primer grupo de superceldas tiene su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de un primer lado del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de la línea central del módulo; el segundo grupo de superceldas tiene su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de la línea central del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de un segundo lado del módulo opuesto al primer lado; el tercer grupo de superceldas tiene su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo del primer lado del módulo y su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de la línea central del módulo; y el cuarto grupo de superceldas tiene su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de la línea central del módulo y su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo del segundo lado del módulo.

El bus 600 conecta los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) del primer grupo de superceldas entre sí, a los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) del tercer grupo de superceldas, al terminal positivo del diodo de derivación 590 y al terminal negativo del diodo de derivación 595. El bus 605 conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) del primer grupo de superceldas entre sí y a los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) del segundo grupo de superceldas. El bus 610P conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) del segundo grupo de superceldas entre sí y al terminal negativo del diodo de derivación 590. El bus 615N conecta los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) del cuarto grupo de superceldas entre sí y al terminal positivo del diodo de derivación 595. El bus 620 conecta los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) del tercer grupo de superceldas entre sí y a los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) del cuarto grupo de superceldas.

El bus 610P y la porción del bus 600 que se conecta a las superceldas del tercer grupo de superceldas pueden estar, en su totalidad, detrás de las superceldas. La porción restante del bus 600 y el bus 615N y/o su interconexión con las superceldas ocupan una porción de la superficie frontal del módulo.

El bus 605 y el bus 620 ocupan una porción de la superficie frontal del módulo, lo que requiere un hueco 210 como se muestra en la figura 5A. De forma alternativa, pueden estar, en su totalidad, detrás de las superceldas y estar conectados eléctricamente a las superceldas con interconectores ocultos intercalados entre extremos superpuestos de las superceldas. En un caso de este tipo, se requiere un pequeño o ningún hueco 210.

La figura 13B muestra un circuito eléctrico esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 5B, en el que el módulo solar incluye diez superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados cortos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas en el módulo solar con sus lados largos orientados en paralelo a los lados cortos del módulo. En el circuito mostrado en la figura 13B, las superceldas están dispuestas en dos grupos: en un primer grupo, las cinco superceldas superiores están conectadas en paralelo entre sí y con el diodo de derivación 590; y en un segundo grupo, las cinco superceldas inferiores están conectadas en paralelo entre sí y con el diodo de derivación 595. Los dos grupos están conectados en serie entre sí. Los diodos de derivación también están conectados en serie.

El circuito esquemático de la figura 13B difiere del de la figura 13A al reemplazar cada fila de dos superceldas de la figura 13A por una única supercelda. En consecuencia, el diseño físico del módulo solar de la figura 13B puede ser como se muestra en las figuras 13C-1, 13C-2 y 13C-3, con la omisión del bus 605 y el bus 620.

La figura 14A muestra un módulo solar rectangular 700 de ejemplo que comprende veinticuatro superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas de extremo a extremo en pares para formar doce filas de

superceldas, con las filas y los lados largos de las superceldas orientados en paralelo a los lados cortos del módulo solar.

5 La figura 14B muestra un diagrama de circuito esquemático de ejemplo para un módulo solar como se ilustra en la figura 14A. En el circuito mostrado en la figura 14B, las superceldas están dispuestas en tres grupos: en un primer grupo, las primeras superceldas de las ocho filas superiores están conectadas en paralelo entre sí y con un diodo de derivación 705; en un segundo grupo, las superceldas de las cuatro filas inferiores están conectadas en paralelo entre sí y con un diodo de derivación 710; y en un tercer grupo, las segundas superceldas de las ocho filas superiores están conectadas en paralelo entre sí y con un diodo de derivación 715. Los tres grupos de superceldas están conectados en serie. Los tres diodos de derivación también están en serie.

10 Las figuras 14C-1 y 14C-2 muestran un diseño físico de ejemplo para el módulo solar de la figura 14B. En este diseño, el primer grupo de superceldas tiene sus contactos de extremo de superficie frontal (negativos) a lo largo de un primer lado del módulo y sus contactos de extremo de superficie trasera (positivos) a lo largo de la línea central del módulo. En el segundo grupo de superceldas, la primera supercelda de cada una de las cuatro filas inferiores tiene su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo del primer lado del módulo y su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de la línea central del módulo, y la segunda supercelda de cada una de las cuatro filas inferiores tiene su contacto de extremo de superficie frontal (negativo) a lo largo de la línea central del módulo y su contacto de extremo de superficie trasera (positivo) a lo largo de un segundo lado del módulo opuesto al primero lado. El tercer grupo de celdas solares tiene sus contactos de extremo de superficie trasera (positivos) a lo largo de la línea central del módulo y sus contactos de extremo de superficie trasera (negativos) a lo largo del segundo lado del módulo.

15 El bus 720N conecta los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) del primer grupo de superceldas entre sí y al terminal positivo del diodo de derivación 705. El bus 725 conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) del primer grupo de superceldas a los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) del segundo grupo de superceldas, al terminal negativo del diodo de derivación 705 y al terminal positivo del diodo de derivación 710. El bus 730P conecta los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) del tercer grupo de superceldas entre sí y al terminal negativo del diodo de derivación 715. El bus 735 conecta los contactos de extremo de superficie frontal (negativos) del tercer grupo de superceldas entre sí, a los contactos de extremo de superficie trasera (positivos) del segundo grupo de superceldas, al terminal negativo del diodo de derivación 710 y al terminal positivo del diodo de derivación 715.

20 La porción del bus 725 que se conecta a las superceldas del primer grupo de superceldas, el bus 730P y la porción del bus 735 que se conecta a las superceldas del segundo grupo de superceldas pueden estar, en su totalidad, detrás de las superceldas. El bus 720N y las porciones restantes del bus 725 y el bus 735 y/o su interconexión con las superceldas ocupan una porción de la superficie frontal del módulo.

25 Algunos de los ejemplos descritos anteriormente alojan los diodos de derivación en una o más cajas de conexiones en la superficie trasera del módulo solar. Sin embargo, esto no es necesario. Por ejemplo, algunos o todos los diodos de derivación se pueden situar dentro de plano con las superceldas alrededor del perímetro del módulo solar o en huecos entre las superceldas, o situarse detrás de las superceldas. En dichos casos, los diodos de derivación se pueden disponer en una estructura laminada en la que se encapsulan las superceldas, por ejemplo. Por tanto, las localizaciones de los diodos de derivación se pueden descentralizar y eliminar de las cajas de conexiones, lo que facilita el reemplazo de una caja de conexiones central, que comprende terminales de módulo tanto positivo como negativo, por dos cajas de conexiones de un único terminal separadas que se pueden localizar en la superficie trasera del módulo solar cerca de los bordes exteriores del módulo solar, por ejemplo. Este enfoque reduce, en general, la longitud de ruta de corriente en los conductores de banda del módulo solar y en el cableado entre módulos solares, lo que puede tanto reducir el coste del material como incrementar la potencia de módulo (al reducirse las pérdidas de potencia resistiva).

30 En referencia a la figura 15, por ejemplo, el diseño físico de diversas interconexiones eléctricas para un módulo solar como se ilustra en la figura 5B que tiene el diagrama de circuito esquemático de la figura 10A puede emplear un diodo de derivación 480 localizado en la estructura laminada de supercelda y dos cajas de conexiones 490P y 490N con un único terminal. La figura 15 se puede apreciar mejor en comparación con las figuras 10B-1 y 10B-2. Los otros diseños de módulo descritos anteriormente se pueden modificar de forma similar.

35 El uso de diodos de derivación dentro del laminado como se acaba de describir se puede facilitar mediante el uso de celdas solares rectangulares (área reducida) de corriente reducida como se describe anteriormente, porque la potencia disipada en un diodo de derivación con polarización directa por las celdas solares de corriente reducida puede ser menor de lo que sería el caso para las celdas solares de tamaño convencional. Por lo tanto, los diodos de derivación en los módulos solares descritos en esta memoria descriptiva pueden requerir menos disipación de calor que lo convencional y, en consecuencia, se pueden sacar de una caja de conexiones de la superficie trasera del módulo y

meterse en el laminado.

5 Un único módulo solar puede incluir interconectores, otros conductores y/o diodos de derivación que admitan dos o más configuraciones eléctricas, por ejemplo, que admitan dos o más de las configuraciones eléctricas descritas anteriormente. En dichos casos, se puede seleccionar una configuración particular para el funcionamiento del módulo solar de las dos o más alternativas con el uso de conmutadores y/o puentes, por ejemplo. Las diferentes configuraciones pueden colocar diferentes números de superceldas en serie y/o en paralelo para proporcionar diferentes combinaciones de salidas de voltaje y corriente del módulo solar. Por lo tanto, un módulo solar de este tipo se puede configurar en fábrica o *in situ* para seleccionar entre dos o más combinaciones diferentes de voltaje y corriente, por ejemplo para seleccionar entre una configuración de alto voltaje y baja corriente y una configuración de bajo voltaje y alta corriente.

15 La figura 16 muestra una disposición de ejemplo de un dispositivo de gestión de potencia a nivel de módulo de conmutador inteligente 750, como se describe anteriormente, entre dos módulos solares.

20 En referencia ahora a la figura 17, un procedimiento 800 de ejemplo para fabricar módulos solares como se divulga en esta memoria descriptiva comprende las siguientes etapas. En la etapa 810, celdas solares de tamaño convencional (por ejemplo, 156 milímetros x 156 milímetros o 125 milímetros x 125 milímetros) se cortan y/o escinden para formar "tiras" de celda solar rectangulares estrechas. (Véase también las figuras 3A-3E) y la descripción relacionada anterior, por ejemplo). Las tiras de celda solar resultantes se pueden someter a prueba y clasificar opcionalmente de acuerdo con su rendimiento de corriente-voltaje. Las celdas con rendimiento de corriente-voltaje coincidente o aproximadamente coincidente se pueden usar de forma ventajosa en la misma supercelda o en la misma fila de superceldas conectadas en serie. Por ejemplo, puede ser ventajoso que las celdas conectadas en serie dentro de una supercelda o dentro de una fila de superceldas produzcan corriente coincidente o aproximadamente coincidente bajo la misma iluminación.

30 En la etapa 815, las superceldas se ensamblan a partir de las celdas solares en tiras, con un material de unión adhesivo conductor dispuesto entre porciones superpuestas de celdas solares contiguas en las superceldas. El material de unión adhesivo conductor se puede aplicar, por ejemplo, mediante impresión por chorro de tinta o serigrafía.

35 En la etapa 820 se aplican calor y presión para curar o parcialmente curar el material de unión adhesivo conductor entre las celdas solares de las superceldas. En una variación, a medida que se añade cada celda solar adicional a una supercelda, el material de unión adhesivo conductor entre la celda solar recién añadida y su celda solar superpuesta contigua (que ya forma parte de la supercelda) se cura o parcialmente se cura antes de que se añada la siguiente celda solar a la supercelda. En otra variación, más de dos celdas solares o todas las celdas solares de una supercelda se pueden situar de la manera superpuesta deseada antes de que el material de unión adhesivo conductor se cure o parcialmente se cure. Las superceldas resultantes de esta etapa se pueden someter a prueba y clasificar opcionalmente de acuerdo con su rendimiento de corriente-voltaje. Superceldas con rendimiento de corriente-voltaje coincidente o aproximadamente coincidente se pueden usar de forma ventajosa en la misma fila de superceldas o en el mismo módulo solar. Por ejemplo, puede ser ventajoso que las superceldas o filas de superceldas conectadas eléctricamente en paralelo produzcan voltajes coincidentes o aproximadamente coincidentes bajo la misma iluminación.

45 En la etapa 825, las superceldas curadas o parcialmente curadas se disponen e interconectan en la configuración de módulo deseada en una estructura en capas que incluye material encapsulante, una lámina frontal transparente (lado que da al sol) y una lámina posterior (opcionalmente transparente). La estructura en capas puede comprender, por ejemplo, una primera capa de encapsulante sobre un sustrato de vidrio, las superceldas interconectadas dispuestas con el lado que da al sol hacia abajo sobre la primera capa de encapsulante, una segunda capa de encapsulante sobre la capa de superceldas y una lámina posterior sobre la segunda capa de encapsulante. También se puede usar cualquier otra disposición adecuada.

En la etapa de laminación 830, se aplican calor y presión a la estructura en capas para formar una estructura laminada curada.

55 En una variación del procedimiento de la figura 17, las celdas solares de tamaño convencional se separan en tiras de celda solar, después de lo que se aplica el material de unión adhesivo conductor a cada tira de celda solar individual. En una variación alternativa, el material de unión adhesivo conductor se aplica a las celdas solares de tamaño convencional antes de la separación de las celdas solares en tiras de celda solar.

60 En la etapa de curado 820, el material de unión adhesivo conductor se puede curar totalmente o se puede curar solo parcialmente. En el segundo caso, el material de unión adhesivo conductor se puede curar inicialmente de forma parcial

en la etapa 820 lo suficiente como para facilitar el manejo y la interconexión de las superceldas, y se puede curar totalmente durante la etapa de laminación 830 posterior.

5 En algunas variaciones, una supercelda 100 ensamblada como un producto intermedio en el procedimiento 800 comprende una pluralidad de celdas solares rectangulares 10 dispuestas con los lados largos de celdas solares contiguas superpuestas y unidas de forma conductora como se describe anteriormente, e interconectores unidos a contactos de terminal en extremos opuestos de la supercelda.

10 La figura 30A muestra una supercelda de ejemplo con interconectores eléctricos unidos a sus contactos de terminal de superficie frontal y trasera. Los interconectores eléctricos discurren paralelos a los bordes de terminal de la supercelda y se extienden lateralmente más allá de la supercelda para facilitar la interconexión eléctrica con una supercelda contigua.

15 La figura 30B muestra dos de las superceldas de la figura 30A interconectadas en paralelo. Las porciones de los interconectores que de otro modo son visibles desde la parte frontal del módulo, se pueden cubrir o colorear (por ejemplo, oscurecerse) para reducir el contraste visible entre el interconector y las superceldas, como se percibe por una persona que ve los colores con normalidad. En el ejemplo ilustrado en la figura 30A, un interconector 850 está unido de forma conductora a un contacto de terminal de lado frontal de una primera polaridad (por ejemplo, + o -) en un extremo de la supercelda (en el lado derecho del dibujo), y otro interconector 850 está unido de forma conductora a un contacto de terminal de lado posterior de polaridad opuesta en el otro extremo de la supercelda (en el lado izquierdo del dibujo). De forma similar a los otros interconectores descritos anteriormente, los interconectores 850 se pueden unir de forma conductora a la supercelda con el mismo material de unión adhesivo conductor usado entre celdas solares, por ejemplo, pero esto no es necesario. En el ejemplo ilustrado, una porción de cada interconexión 850 se extiende más allá del borde de la supercelda 100 en una dirección perpendicular al eje largo de la supercelda (y paralela a los ejes largos de las celdas solares 10). Como se muestra en la figura 30B, esto permite situar dos o más superceldas 100 una al lado de la otra, con los interconectores 850 de una supercelda superpuestos y unidos de forma conductora a interconectores 850 correspondientes en la supercelda contigua para interconectar eléctricamente las dos superceldas en paralelo. Varios de dichos interconectores 850 interconectados en serie como se acaba de describir pueden formar un bus para el módulo. Esta disposición puede ser adecuada, por ejemplo, cuando la supercelda individual se extiende por toda la anchura o por toda la longitud del módulo (por ejemplo, figura 5B). Además, los interconectores 850 también se pueden usar para conectar eléctricamente los contactos de terminal de dos superceldas contiguas dentro de una fila de superceldas en serie. Pares o cadenas más largas de dichas superceldas interconectadas dentro de una fila se pueden conectar eléctricamente en paralelo con superceldas interconectadas de forma similar en una fila contigua superponiendo y uniendo de forma conductora interconectores 850 de una fila con interconectores 850 de la fila contigua de forma similar a como se muestra en la figura 30B.

40 El interconector 850 se puede troquelar a partir de una lámina conductora, por ejemplo, y se pueden formar patrones en el mismo opcionalmente para incrementar su resiliencia mecánica tanto de forma perpendicular como paralela al borde de la supercelda para reducir o acomodar la tensión perpendicular y paralela al borde de la supercelda que surge de la discrepancia entre el CTE del interconector y el de la supercelda. Dicha formación de patrones puede incluir, por ejemplo, hendiduras, ranuras u orificios (no mostrados). La resiliencia mecánica del interconector 850, y su unión o uniones a la supercelda, debería ser suficiente para que las conexiones a la supercelda resistan la tensión que surge de la discrepancia de CTE durante el proceso de laminación descrito con más detalle a continuación. El interconector 850 se puede unir a la supercelda con, por ejemplo, un material de unión eléctricamente conductor con resiliencia mecánica, como se describe anteriormente para su uso en la unión de celdas solares superpuestas. Opcionalmente, el material de unión eléctricamente conductor puede estar localizado solo en posiciones discretas a lo largo de los bordes de la supercelda en lugar de en una línea continua que se extiende sustancialmente a lo largo del borde de la supercelda, para reducir o acomodar la tensión paralela a los bordes de la supercelda que surge de la discrepancia entre el coeficiente de expansión térmica del material de unión eléctricamente conductor o los interconectores y el de la supercelda.

55 El interconector 850 se puede cortar de una lámina de cobre delgada, por ejemplo, y puede ser más delgada que los interconectores conductores convencionales cuando las superceldas 100 se forman a partir de celdas solares que tienen áreas más pequeñas que las celdas solares de silicio estándar y, por lo tanto, funcionan con corrientes más bajas que las convencionales. Por ejemplo, los interconectores 850 se pueden formar a partir de láminas de cobre que tengan un grosor de 50 micrómetros aproximadamente a 300 micrómetros aproximadamente. Los interconectores 850 pueden ser lo suficientemente delgados y flexibles como para doblarse alrededor y detrás del borde de la supercelda a la que están unidos, de forma similar a los interconectores descritos anteriormente.

60 Las figuras 19A-19D muestran varias disposiciones de ejemplo mediante las que se puede aplicar calor y presión durante el procedimiento 800 para curar o parcialmente curar el material de unión adhesivo conductor entre celdas

solares contiguas en las superceldas. También se puede emplear cualquier otra disposición adecuada.

En la figura 19A, se aplican calor y presión localizada para curar o parcialmente curar el material de unión adhesivo conductor 12 en una juntura (región superpuesta) a la vez. La supercelda puede estar sostenida por una superficie 1000 y se puede aplicar presión de forma mecánica a la juntura desde arriba con una barra, un pasador u otro contacto mecánico, por ejemplo. Se puede aplicar calor a la juntura con aire caliente (u otro gas caliente), con una lámpara de infrarrojos o calentando el contacto mecánico que aplica presión localizada a la juntura, por ejemplo.

En la figura 19B, la disposición de la figura 19A se amplía a un proceso por lotes que aplica simultáneamente calor y presión localizada a múltiples junturas en una supercelda.

En la figura 19C, una supercelda no curada está intercalada entre revestimientos antiadherentes 1015 y láminas termoplásticas reutilizables 1020 y está situada sobre una placa portadora 1010 sostenida por una superficie 1000. El material termoplástico de las láminas 1020 se selecciona para fundirse a la temperatura a la que se curan las superceldas. Los revestimientos antiadherentes 1015 se pueden formar a partir de fibra de vidrio y PTFE, por ejemplo, y no se adhieren a la supercelda después del proceso de curado. Preferentemente, los revestimientos antiadherentes 1015 están formados a partir de materiales que tienen un coeficiente de expansión térmica coincidente o sustancialmente coincidente con el de las celdas solares (por ejemplo, el CTE de silicio). Esto se debe a que si el CTE de los revestimientos antiadherentes difiere demasiado del de las celdas solares, entonces las celdas solares y los revestimientos antiadherentes se alargarán en cantidades diferentes durante el proceso de curado, lo que tendería a separar la supercelda a lo largo en las junturas. Una cámara de vacío 1005 cubre esta disposición. La supercelda no curada se calienta desde abajo a través de la superficie 1000 y la placa portadora 1010, por ejemplo, y se genera vacío entre la cámara 1005 y la superficie de soporte 1000. Como resultado, la cámara 1005 aplica presión hidrostática a la supercelda a través de las láminas termoplásticas fundidas 1020.

En la figura 19D, una supercelda no curada se transporta por una cinta móvil perforada 1025 a través de un horno 1035 que calienta la supercelda. Un vacío aplicado a través de perforaciones en la cinta arrastra las celdas solares 10 hacia la cinta, aplicando de este modo presión a las junturas entre las mismas. El material de unión adhesivo conductor en esas junturas se cura a medida que la supercelda pasa a través del horno. Preferentemente, la cinta perforada 1025 está formada a partir de materiales que tienen un CTE coincidente o sustancialmente coincidente con el de las celdas solares (por ejemplo, el CTE de silicio). Esto se debe a que si el CTE de la cinta 1025 difiere demasiado del de las celdas solares, entonces las celdas solares y la cinta se alargarán en cantidades diferentes en el horno 1035, lo que tenderá a separar la supercelda longitudinalmente en las junturas.

El procedimiento 800 de la figura 17 incluye distintas etapas de curado y laminación de superceldas, y produce un producto de supercelda intermedio. Por el contrario, en el procedimiento 900 mostrado en la figura 18, se combinan las etapas de curado y laminación de superceldas. En la etapa 910, celdas solares de tamaño convencional (por ejemplo, 156 milímetros x 156 milímetros o 125 milímetros x 125 milímetros) se cortan y/o escinden para formar tiras de celda solar rectangulares estrechas. Las tiras de celda solar resultantes se pueden someter a prueba y clasificar opcionalmente.

En la etapa 915, las tiras de celda solar se disponen en la configuración de módulo deseada en una estructura en capas que incluye material encapsulante, una lámina frontal transparente (lado que da al sol) y una lámina posterior. Las tiras de celda solar se disponen como superceldas, con un material de unión adhesivo conductor no curado dispuesto entre porciones superpuestas de celdas solares contiguas en las superceldas. (El material de unión adhesivo conductor se puede aplicar, por ejemplo, mediante impresión por chorro de tinta o serigrafía). Los interconectores están dispuestos para interconectar eléctricamente las superceldas no curadas en la configuración deseada. La estructura en capas puede comprender, por ejemplo, una primera capa de encapsulante sobre un sustrato de vidrio, las superceldas interconectadas dispuestas con el lado que da al sol hacia abajo sobre la primera capa de encapsulante, una segunda capa de encapsulante sobre la capa de superceldas y una lámina posterior sobre la segunda capa de encapsulante. También se puede usar cualquier otra disposición adecuada.

En la etapa de laminación 920 se aplica calor y presión a la estructura en capas para curar el material de unión adhesivo conductor en las superceldas y para formar una estructura laminada curada. El material de unión adhesivo conductor usado para unir los interconectores a las superceldas también se puede curar en esta etapa.

En una variación del procedimiento 900, las celdas solares de tamaño convencional se separan en tiras de celda solar, después de lo que se aplica el material de unión adhesivo conductor a cada tira de celda solar individual. En una variación alternativa, el material de unión adhesivo conductor se aplica a las celdas solares de tamaño convencional antes de la separación de las celdas solares en tiras de celda solar. Por ejemplo, se puede colocar una pluralidad de celdas solares de tamaño convencional en una plantilla grande, a continuación distribuir material de unión adhesivo

conductor sobre las celdas solares, y a continuación separar las celdas solares simultáneamente en tiras de celda solar con un componente de sujeción grande. A continuación, las tiras de celda solar resultantes se pueden transportar como un grupo y disponerse en la configuración de módulo deseada como se describe anteriormente.

5 Como se indica anteriormente, en algunas variaciones del procedimiento 800 y del procedimiento 900, el material de unión adhesivo conductor se aplica a las celdas solares de tamaño convencional antes de separar las celdas solares en tiras de celda solar. El material de unión adhesivo conductor no está curado (es decir, está todavía "húmedo") cuando la celda solar de tamaño convencional se separa para formar las tiras de celda solar. En algunas de estas variaciones, el material de unión adhesivo conductor se aplica a una celda solar de tamaño convencional (por ejemplo, mediante chorro de tinta o serigrafía), a continuación se usa un láser para trazar líneas en la celda solar que definen las localizaciones en las que se va a escindir la celda solar para formar las tiras de celda solar y, a continuación, la celda solar se escinde a lo largo de las líneas de trazo. En estas variaciones, la potencia del láser y/o la distancia entre las líneas de trazo y el material de unión adhesivo se pueden seleccionar para evitar el curado accidental o el curado parcial del material de unión adhesivo conductor con el calor del láser. En otras variaciones, se usa un láser para trazar líneas en una celda solar de tamaño convencional que definen las localizaciones en las que se va a escindir la celda solar para formar las tiras de celda solar, a continuación se aplica el material de unión adhesivo conductor a la celda solar (por ejemplo, por inyección de tinta o serigrafía), a continuación, se escinde la celda solar a lo largo de las líneas de trazo. En estas últimas variaciones, puede ser preferente lograr la etapa de aplicar el material de unión adhesivo conductor sin escindir o romper accidentalmente la celda solar trazada durante esta etapa.

20 En referencia de nuevo a las figuras 20A-20C, la figura 20A ilustra esquemáticamente una vista lateral de un aparato 1050 de ejemplo que se puede usar para escindir celdas solares trazadas a las que se ha aplicado material de unión adhesivo conductor. (El trazado y la aplicación de material de unión adhesivo conductor se puede haber producido en cualquier orden). En este aparato, una celda solar trazada de tamaño convencional 45 a la que se le ha aplicado material de unión adhesivo conductor se transporta por una cinta móvil perforada 1060 sobre una porción curva de un colector de vacío 1070. A medida que la celda solar 45 pasa sobre la porción curva del colector de vacío, un vacío aplicado a través de las perforaciones en la cinta tira de la superficie inferior de la celda solar 45 contra el colector de vacío y, de este modo, flexiona la celda solar. El radio de curvatura R de la porción curva del colector de vacío se puede seleccionar de modo que flexionar la celda solar flexible 45 de esta manera escinda la celda solar a lo largo de las líneas de trazo. De forma ventajosa, la celda solar 45 se puede escindir mediante este procedimiento sin hacer contacto con la superficie superior de la celda solar 45 a la que se ha aplicado el material de unión adhesivo conductor.

35 Si es preferente que la escisión comience en un extremo de una línea de trazo (es decir, en un borde de la celda solar 45), esto se puede lograr con el aparato 1050 de la figura 20A, por ejemplo, disponiendo que las líneas de trazo estén orientadas en un ángulo θ con respecto al colector de vacío de modo que para cada línea de trazo, un extremo llegue a la porción curva del colector de vacío antes que el otro extremo. Como se muestra en la figura 20B, por ejemplo, las celdas solares se pueden orientar con sus líneas de trazo en ángulo con respecto a la dirección de desplazamiento de la cinta y el colector orientado de manera perpendicular a la dirección de desplazamiento de la cinta. Como otro ejemplo, la figura 20C muestra las celdas orientadas con sus líneas de trazo perpendiculares a la dirección de desplazamiento de la cinta y con el colector orientado en ángulo.

40 También se puede usar cualquier otro aparato adecuado para escindir celdas solares trazadas a las que se ha aplicado material de unión adhesivo conductor para formar celdas solares en tiras con material de unión adhesivo conductor aplicado previamente. Dicho aparato puede, por ejemplo, usar rodillos para aplicar presión a la superficie superior de la celda solar a la que se ha aplicado el material de unión adhesivo conductor. En dichos casos, es preferente que los rodillos toquen la superficie superior de la celda solar solo en regiones a las que no se ha aplicado material de unión adhesivo conductor.

50 En algunas variaciones, los módulos solares comprenden superceldas dispuestas en filas sobre una lámina posterior blanca o de otro modo reflectante, de modo que una porción de la radiación solar inicialmente no absorbida por las celdas solares y que pasa a través de las mismas se pueda reflejar por la lámina posterior de vuelta a las celdas solares para producir electricidad. La lámina posterior reflectante puede ser visible a través de los huecos entre las filas de superceldas, lo que puede dar como resultado un módulo solar que parece tener filas de líneas paralelas brillantes (por ejemplo, blancas) que discurren por su superficie frontal. En referencia a la figura 5B, por ejemplo, las líneas oscuras paralelas que discurren entre las filas de superceldas 100 pueden parecer líneas blancas si las superceldas 100 están dispuestas sobre una lámina posterior blanca. Esto puede resultar estéticamente desagradable para algunos usos de los módulos solares, por ejemplo, en azoteas.

60 En referencia a la figura 21, para mejorar la apariencia estética del módulo solar, algunas variaciones emplean una lámina posterior blanca 1100 que comprende tiras oscuras 1105 localizadas en posiciones correspondientes a los huecos entre filas de las superceldas que se van a disponer en la lámina posterior. Las tiras 1105 son lo suficientemente

anchas como para que las porciones blancas de la lámina posterior no sean visibles a través de los huecos entre las filas de superceldas en el módulo ensamblado. Esto reduce el contraste visual entre las superceldas y la lámina posterior, como se percibe por una persona que ve los colores con normalidad. El módulo resultante incluye una lámina posterior blanca, pero puede tener una superficie frontal de apariencia similar a la de los módulos ilustrados en las figuras 5A-5B, por ejemplo. Las tiras oscuras 1105 se pueden producir con tramos de cinta oscura, por ejemplo, o de cualquier otra manera adecuada.

Como se menciona previamente, el ensombrecimiento de celdas individuales dentro de los módulos solares puede crear "puntos críticos", en los que la potencia de las celdas sin sombra se disipa en la celda en sombra. Esta potencia disipada crea picos de temperatura localizados que pueden degradar los módulos.

Para minimizar la gravedad potencial de estos puntos críticos, los diodos de derivación se insertan convencionalmente como parte del módulo. El número máximo de celdas entre los diodos de derivación se establece para limitar la temperatura máxima del módulo y evitar daños irreversibles en el módulo. Los diseños estándar de celdas de silicio pueden utilizar un diodo de derivación cada 20 o 24 celdas, un número que se determina por el voltaje disruptivo típico de las celdas de silicio. En determinados modos de realización, el voltaje disruptivo puede estar en el intervalo entre 10-50 V aproximadamente. En determinados modos de realización, el voltaje disruptivo puede ser de 10 V aproximadamente, 15 V aproximadamente, 20 V aproximadamente, 25 V aproximadamente, 30 V aproximadamente o 35 V aproximadamente.

De acuerdo con modos de realización, el solapamiento de las tiras de celdas solares cortadas con adhesivos delgados termoconductores mejora el contacto térmico entre las celdas solares. Este contacto térmico potenciado permite un mayor grado de propagación térmica que las tecnologías de interconexión tradicionales. Un diseño de propagación de calor térmica de este tipo basado en el solapamiento permite usar cadenas más largas de celdas solares que las veinticuatro (o menos) celdas solares por diodo de derivación a las que están restringidos los diseños convencionales. Dicha relajación en el requisito de diodos de derivación frecuentes de acuerdo con la propagación térmica facilitada por el solapamiento de acuerdo con los modos de realización puede ofrecer uno o más beneficios. Por ejemplo, permite la creación de diseños de módulos de una variedad de longitudes de cadena de celdas solares, sin la necesidad de tener que proporcionar un gran número de diodos de derivación.

De acuerdo con los modos de realización, la propagación térmica se logra manteniendo una unión física y térmica con la celda contigua. Esto permite una adecuada disipación de calor a través de la junta unida.

En determinados modos de realización, esta junta se mantiene con un grosor de aproximadamente 200 micrómetros o menos, y discurre a lo largo de la celda solar en un patrón segmentado. Dependiendo del modo de realización, la junta puede tener un grosor de 200 micrómetros aproximadamente o menos, de 150 micrómetros aproximadamente o menos, de 125 micrómetros aproximadamente o menos, de 100 micrómetros aproximadamente o menos, de 90 micrómetros aproximadamente o menos, de 80 micrómetros aproximadamente o menos, de 70 micrómetros aproximadamente o menos, de 50 micrómetros aproximadamente o menos, o de 25 micrómetros aproximadamente o menos.

Un procesamiento de curado exacto del adhesivo puede ser importante para garantizar que se mantenga una junta fiable al tiempo que se reduce el grosor para favorecer la propagación térmica entre las celdas unidas.

La posibilidad de formar cadenas más largas (por ejemplo, más de 24 celdas) ofrece flexibilidad en el diseño de celdas y módulos solares. Por ejemplo, determinados modos de realización pueden utilizar cadenas de celdas solares cortadas que se ensamblan de manera solapada. Dichas configuraciones pueden utilizar significativamente más celdas por módulo que un módulo convencional.

En ausencia de la propiedad de propagación térmica, se necesitaría un diodo de derivación cada 24 celdas. Si las celdas solares se cortan en 1/6, los diodos de derivación por módulo serían 6 veces el módulo convencional (que comprende 3 celdas sin cortar), sumando un total de 18 diodos. Por tanto, la propagación térmica ofrece una reducción significativa en el número de diodos de derivación.

Además, para cada diodo de derivación, se necesitan circuitos de derivación para completar la ruta eléctrica de derivación. Cada diodo requiere dos puntos de interconexión y enrutamiento de conductores para conectarlos a dichos puntos de interconexión. Esto crea un circuito complicado, lo que genera un gasto significativo sobre los costes de diseño estándar asociados al ensamblaje de un módulo solar.

Por el contrario, la tecnología de propagación térmica requiere solo uno o incluso ningún diodo de derivación por módulo. Una configuración de este tipo agiliza el proceso de ensamblaje de los módulos, lo que permite que

herramientas de automatización simples realicen las etapas de fabricación del diseño.

5 Al evitar la necesidad de proteger por derivación cada 24 celdas, el módulo de celdas por tanto se hace más fácil de fabricar. Se evitan bifurcaciones complejas en el centro del módulo y conexiones paralelas largas para circuitos de derivación. Esta propagación térmica se implementa creando largas tiras solapadas de celdas que discurren a lo ancho y/o a lo largo del módulo.

10 Además de proporcionar una propagación de calor térmica, el solapamiento de acuerdo con los modos de realización también permite mejorar el rendimiento de los puntos críticos al reducirse la magnitud de la corriente disipada en una celda solar. Específicamente, durante una condición de punto crítico, la cantidad de corriente disipada en una celda solar depende del área de la celda.

15 Dado que el solapamiento puede cortar las celdas en áreas más pequeñas, la cantidad de corriente que pasa a través de una celda en una condición de punto crítico depende de las dimensiones del corte. Durante una condición de punto crítico, la corriente pasa a través de la ruta de resistencia más baja, que es normalmente un borde de grano o una superficie de contacto defectuosa a nivel de celda. Reducir esta corriente es beneficioso y minimiza el riesgo de fallo de fiabilidad en condiciones de punto crítico.

20 La figura 22A muestra una vista en planta de un módulo convencional 2200 que utiliza conexiones de banda tradicionales 2201 en condiciones de punto crítico. Aquí, el ensombrecimiento 2202 en una celda 2204 da como resultado que el calor se localice en esa única celda.

25 Por el contrario, la figura 22B muestra una vista en planta de un módulo que utiliza propagación térmica, también en condiciones de punto crítico. Aquí, el ensombrecimiento 2250 en la celda 2252 genera calor dentro de esa celda. Este calor, sin embargo, se propaga a otras celdas unidas eléctrica y térmicamente 2254 dentro del módulo 2256.

30 Se observa además que el beneficio de la reducción de la corriente disipada se multiplica para las celdas solares multicristalinas. Es conocido que dichas celdas multicristalinas tienen un bajo rendimiento en condiciones de punto crítico debido a un alto nivel de superficies de contacto defectuosas.

35 Como se indica anteriormente, modos de realización particulares pueden emplear el solapamiento de celdas biseladas cortadas. En dichos casos, existe una ventaja de propagación de calor con respecto al espejo, a lo largo de la línea de unión entre cada celda con la celda contigua.

Esto maximiza la longitud de unión de cada juntura superpuesta. Dado que la juntura de unión es la superficie de contacto principal para la propagación de calor de celda a celda, maximizar esta longitud puede garantizar que se obtenga una propagación de calor óptima.

40 La figura 23A muestra un ejemplo de un diseño de cadena de superceldas 2300 con celdas biseladas 2302. En esta configuración, las celdas biseladas están orientadas en la misma dirección y, por tanto, todas las rutas de conducción de juntas unidas son iguales (125 mm).

45 El ensombrecimiento 2306 de una celda 2304 da como resultado una polarización inversa de esa celda. El calor se propaga a las celdas contiguas. Los extremos no unidos 2304a de la celda biselada se vuelven más calientes debido a una mayor longitud de conducción a la siguiente celda.

50 La figura 23B muestra otro ejemplo de un diseño de cadena de superceldas 2350 con celdas biseladas 2352. En esta configuración, las celdas biseladas están orientadas en diferentes direcciones, con algunos de los bordes largos de las celdas biseladas enfrentados entre sí. Esto da como resultado rutas de conducción de juntas unidas de dos longitudes: 125 mm y 156 mm.

55 Cuando una celda 2354 experimenta el ensombrecimiento 2356, la configuración de la figura 23B presenta una mejor propagación térmica a lo largo de la longitud de unión más larga. La figura 23B muestra por tanto la propagación térmica en una supercelda con celdas biseladas enfrentadas entre sí.

El análisis anterior se ha centrado en ensamblar una pluralidad de celdas solares (que pueden ser celdas solares cortadas) de manera solapada sobre un sustrato común. Esto da como resultado la formación de un módulo que tiene un único interconector eléctrico - caja de conexiones (o caja de empalmes).

60 Sin embargo, para reunir una cantidad suficiente de energía solar que sea útil, una instalación comprende típicamente un número de dichos módulos que se ensamblan juntos. De acuerdo con modos de realización, una pluralidad de

módulos de celdas solares también se pueden ensamblar de manera solapada para incrementar la eficacia de área de una matriz.

5 En modos de realización particulares, un módulo puede presentar una banda conductora superior orientada en la dirección de la energía solar, y una banda conductora inferior orientada en sentido contrario a la dirección de la energía solar.

10 La banda inferior está hundida debajo de las celdas. Por tanto, no bloquea la luz entrante ni afecta negativamente a la eficacia de área del módulo. Por el contrario, la banda superior está expuesta y puede bloquear la luz entrante y afectar negativamente a la eficacia.

15 De acuerdo con los modos de realización, los propios módulos se pueden solapar, de modo que la banda superior queda cubierta por el módulo vecino. La figura 24 muestra una vista simplificada en sección transversal de una disposición 2400 de este tipo, en la que una porción de extremo 2401 de un módulo contiguo 2402 sirve para superponer la banda superior 2404 de un módulo inmediato 2406. Cada módulo por sí mismo comprende una pluralidad de celdas solares solapadas 2407.

20 La banda inferior 2408 del módulo inmediato 2406 está hundida. Está localizada en un lado elevado del módulo solapado inmediato para superponerse al siguiente módulo solapado contiguo.

25 Esta configuración de módulo solapado también podría proporcionar un área adicional en el módulo para otros elementos, sin afectar negativamente a un área expuesta final de la matriz de módulos. Ejemplos de elementos de módulo que se pueden situar en regiones superpuestas pueden incluir, pero no se limitan a, cajas de conexiones (cajas de empalmes) 2410 y/o bandas de bus.

30 La figura 25 muestra otro modo de realización de una configuración de módulos solapados 2500. Aquí, las cajas de empalmes 2502, 2504 de los respectivos módulos solapados contiguos 2506 y 2508 están en una disposición de acoplamiento 2510 para lograr la conexión eléctrica entre los mismos. Esto simplifica la configuración de la matriz de módulos solapados al eliminar el cableado.

35 En determinados modos de realización, las cajas de empalmes se podrían reforzar y/o combinar con separadores estructurales adicionales. Una configuración de este tipo podría crear una solución integrada de bastidor montado en el tejado con módulo inclinado, en la que una dimensión de la caja de conexiones determina una inclinación. Una implementación de este tipo puede ser en particular útil cuando una matriz de módulos solapados se monta en un tejado plano.

40 Si los módulos comprenden un sustrato de vidrio y una cubierta de vidrio (módulos de vidrio-vidrio), los módulos se podrían usar sin elementos de armazón adicionales, acortando la longitud total del módulo (y, por tanto, la longitud expuesta L resultante del solapamiento). Dicho acortamiento permitiría a los módulos de la matriz en mosaico resistir las cargas físicas esperadas (por ejemplo, un límite de carga de nieve de 5400 Pa), sin fracturarse por la tensión.

45 Se hace hincapié en que el uso de estructuras de superceldas que comprenden una pluralidad de celdas solares individuales ensambladas de manera solapada acomoda fácilmente el cambio de la longitud del módulo para ajustarse a una longitud específica dictaminada por la carga física y otros requisitos.

50 La figura 26 muestra un diagrama de la superficie trasera (en sombra) de un módulo solar que ilustra una interconexión eléctrica de ejemplo de los contactos eléctricos de terminal de superficie frontal (lado que da al sol) de una supercelda solapada a una caja de conexiones en el lado trasero del módulo. Los contactos de terminal de superficie frontal de la supercelda solapada pueden estar localizados de forma contigua a un borde del módulo.

55 La figura 26 muestra el uso de un interconector flexible 400 para hacer contacto eléctricamente con un contacto de extremo de superficie frontal de una supercelda 100. En el ejemplo ilustrado, el interconector flexible 400 comprende una porción de banda 9400A que discurre paralela y contigua a un extremo de la supercelda 100 y unos dedos 9400B que se extienden de manera perpendicular a la porción de banda para hacer contacto con el patrón de metalización de superficie frontal (no mostrado) de la celda solar de extremo de la supercelda, a la que están unidos de forma conductora. Un conductor de banda 9410 unido de forma conductora al interconector 9400 pasa por detrás de la supercelda 100 para conectar eléctricamente el interconector 9400 a los componentes eléctricos (por ejemplo, diodos de derivación y/o terminales de módulo en una caja de conexiones) en la superficie trasera del módulo solar del que la supercelda es una parte. Se puede disponer una película aislante 9420 entre el conductor 9410 y el borde y la superficie trasera de la supercelda 100 para aislar eléctricamente el conductor de banda 9410 de la supercelda 100.

60

El interconector 400 se puede doblar opcionalmente alrededor del borde de la supercelda de modo que la porción de banda 9400A quede detrás o parcialmente detrás de la supercelda. En dichos casos, una capa de aislamiento eléctrico se proporciona típicamente entre el interconector 400 y el borde y las superficies traseras de la supercelda 100.

5 El interconector 400 se puede troquelar a partir de una lámina conductora, por ejemplo, y se pueden formar patrones en el mismo opcionalmente para incrementar su resiliencia mecánica tanto de forma perpendicular como paralela al borde de la supercelda para reducir o acomodar la tensión perpendicular y paralela al borde de la supercelda que surge de la discrepancia entre el CTE del interconector y el de la supercelda. Dicha formación de patrones puede incluir, por ejemplo, hendiduras, ranuras u orificios (no mostrados). La resiliencia mecánica del interconector 400, y su unión a la supercelda, debería ser suficiente para que la conexión a la supercelda resista la tensión que surge de la discrepancia de CTE durante el proceso de laminación descrito con más detalle a continuación. El interconector 400 se puede unir a la supercelda con, por ejemplo, un material de unión eléctricamente conductor con resiliencia mecánica, como se describe anteriormente para su uso en la unión de celdas solares superpuestas. Opcionalmente, el material de unión eléctricamente conductor puede estar localizado solo en posiciones discretas a lo largo del borde de la supercelda (por ejemplo, correspondientes a las localizaciones de placas de contacto discretas en la celda solar de extremo) en lugar de en una línea continua que se extiende sustancialmente a lo largo del borde de la supercelda, para reducir o acomodar la tensión paralela al borde de la supercelda que surge de la discrepancia entre el coeficiente de expansión térmica del material de unión eléctricamente conductor o el interconector y el de la supercelda.

20 El interconector 400 se puede cortar de una lámina de cobre delgada, por ejemplo, y puede ser más delgada que los interconectores conductores convencionales cuando las superceldas 100 se forman a partir de celdas solares que tienen áreas más pequeñas que las celdas solares de silicio estándar y, por lo tanto, funcionan con corrientes más bajas que las convencionales. Por ejemplo, los interconectores 400 se pueden formar a partir de láminas de cobre que tengan un grosor de 50 micrómetros aproximadamente a 300 micrómetros aproximadamente. Un interconector 400 puede ser lo suficientemente delgado como para acomodar la tensión perpendicular y paralela al borde de la supercelda que surge de la discrepancia entre el CTE del interconector y el de la supercelda incluso sin tener patrones, como se describe anteriormente. El conductor de banda 9410 se puede formar a partir de cobre, por ejemplo.

30 La figura 27 muestra un diagrama de la superficie trasera (en sombra) de un módulo solar que ilustra una interconexión eléctrica de ejemplo de dos o más superceldas solapadas en paralelo, con los contactos eléctricos de terminal de superficie frontal (lado que da al sol) de las superceldas conectados entre sí y a una caja de conexiones en el lado trasero del módulo. Los contactos de terminal de superficie frontal de las superceldas solapadas pueden estar localizados de forma contigua a un borde del módulo.

35 La figura 27 muestra el uso de dos interconectores flexibles 400, como se acaba de describir, para hacer contacto eléctrico con contactos de terminal de superficie frontal de dos superceldas 100 contiguas. Un bus 9430 que discurre paralelo y contiguo a los extremos de las superceldas 100 está unido de forma conductora a los dos interconectores flexibles para conectar eléctricamente las superceldas en paralelo. Este esquema se puede ampliar para interconectar superceldas 100 adicionales en paralelo, según se desee. El bus 9430 se puede formar a partir de una banda de cobre, por ejemplo.

45 De forma similar a como se describe anteriormente con respecto a la figura 26, los interconectores 400 y el bus 9430 se pueden doblar opcionalmente alrededor del borde de las superceldas de modo que las porciones de banda 9400A y el bus 9430 queden detrás o parcialmente detrás de las superceldas. En dichos casos, una capa de aislamiento eléctrico se proporciona típicamente entre los interconectores 400 y el borde y las superficies traseras de las superceldas 100 y entre el bus 9430 y el borde y las superficies traseras de las superceldas 100.

50 La figura 28 muestra un diagrama de la superficie trasera (en sombra) de un módulo solar que ilustra otra interconexión eléctrica de ejemplo de dos o más superceldas solapadas en paralelo, con los contactos eléctricos de terminal de superficie frontal (lado que da al sol) de las superceldas conectados entre sí y a una caja de conexiones en el lado trasero del módulo. Los contactos de terminal de superficie frontal de las superceldas solapadas pueden estar localizados de forma contigua a un borde del módulo.

55 La figura 28 muestra el uso de otro interconector flexible 9440 de ejemplo para hacer contacto eléctricamente con un contacto de extremo de superficie frontal de una supercelda 100. En este ejemplo, el interconector flexible 9440 comprende una porción de banda 9440A que discurre paralela y contigua a un extremo de la supercelda 100, unos dedos 9440B que se extienden de manera perpendicular a la porción de banda para hacer contacto con el patrón de metalización de superficie frontal (no mostrado) de la celda solar de extremo de la supercelda, a la que están unidos de forma conductora, y unos dedos 9440C que se extienden de manera perpendicular a la porción de banda y detrás de la supercelda. Los dedos 9440C están unidos de forma conductora a un bus 9450. El bus 9450 discurre paralelo y contiguo al extremo de la supercelda 100 a lo largo de la superficie trasera de la supercelda 100, y se puede extender

para superponerse a superceldas contiguas a las que se puede conectar eléctricamente de forma similar, conectando de este modo las superceldas en paralelo. El conductor de banda 9410 unido de forma conductora al bus 9450 interconecta eléctricamente las superceldas a componentes eléctricos (por ejemplo, diodos de derivación y/o terminales de módulo en una caja de conexiones) en la superficie trasera del módulo solar. Se pueden proporcionar películas de aislamiento eléctrico 9420 entre los dedos 9440C y el borde y las superficies traseras de la supercelda 100, entre el bus 9450 y la superficie trasera de la supercelda 100, y entre el conductor de banda 9410 y la superficie trasera de la supercelda 100.

El interconector 9440 se puede troquelar a partir de una lámina conductora, por ejemplo, y se pueden formar patrones en el mismo opcionalmente para incrementar su resiliencia mecánica tanto de forma perpendicular como paralela al borde de la supercelda para reducir o acomodar la tensión perpendicular y paralela al borde de la supercelda que surge de la discrepancia entre el CTE del interconector y el de la supercelda. Dicha formación de patrones puede incluir, por ejemplo, hendiduras, ranuras u orificios (no mostrados). La resiliencia mecánica del interconector 9440, y su unión a la supercelda, debería ser suficiente para que la conexión a la supercelda resista la tensión que surge de la discrepancia de CTE durante el proceso de laminación descrito con más detalle a continuación. El interconector 9440 se puede unir a la supercelda con, por ejemplo, un material de unión eléctricamente conductor con resiliencia mecánica, como se describe anteriormente para su uso en la unión de celdas solares superpuestas. Opcionalmente, el material de unión eléctricamente conductor puede estar localizado solo en posiciones discretas a lo largo del borde de la supercelda (por ejemplo, correspondientes a las localizaciones de placas de contacto discretas en la celda solar de extremo) en lugar de en una línea continua que se extiende sustancialmente a lo largo del borde de la supercelda, para reducir o acomodar la tensión paralela al borde de la supercelda que surge de la discrepancia entre el coeficiente de expansión térmica del material de unión eléctricamente conductor o el interconector y el de la supercelda.

El interconector 9440 se puede cortar de una lámina de cobre delgada, por ejemplo, y puede ser más delgada que los interconectores conductores convencionales cuando las superceldas 100 se forman a partir de celdas solares que tienen áreas más pequeñas que las celdas solares de silicio estándar y, por lo tanto, funcionan con corrientes más bajas que las convencionales. Por ejemplo, los interconectores 9440 se pueden formar a partir de láminas de cobre que tengan un grosor de 50 micrómetros aproximadamente a 300 micrómetros aproximadamente. Un interconector 9440 puede ser lo suficientemente delgado como para acomodar la tensión perpendicular y paralela al borde de la supercelda que surge de la discrepancia entre el CTE del interconector y el de la supercelda incluso sin tener patrones, como se describe anteriormente. El bus 9450 se puede formar a partir de una banda de cobre, por ejemplo.

Los dedos 9440C se pueden unir al bus 9450 después de que los dedos 9440B se unan a la superficie frontal de la supercelda 100. En dichos casos, los dedos 9440C se pueden doblar alejándose de la superficie trasera de la supercelda 100, por ejemplo, de manera perpendicular a la supercelda 100, cuando están unidos al bus 9450. Después, los dedos 9440C se pueden doblar para discurrir a lo largo de la superficie trasera de la supercelda 100, como se muestra en la figura 28.

La figura 29 muestra diagramas fragmentarios en perspectiva y en sección transversal de dos superceldas que ilustran el uso de un interconector flexible intercalado entre extremos superpuestos de superceldas contiguas para conectar eléctricamente las superceldas en serie y para proporcionar una conexión eléctrica a una caja de conexiones. La figura 29A muestra una vista ampliada de un área de interés en la figura 29.

La figura 29 y la figura 29A muestran el uso de un interconector flexible 2960 de ejemplo intercalado parcialmente entre y que interconecta eléctricamente los extremos superpuestos de dos superceldas 100 para proporcionar una conexión eléctrica al contacto de extremo de superficie frontal de una de las superceldas y al contacto de extremo de superficie trasera de la otra supercelda, interconectando de este modo las superceldas en serie. En el ejemplo ilustrado, el interconector 2960 queda oculto a la vista desde la parte frontal del módulo solar por la parte superior de las dos celdas solares superpuestas. En otra variación, los extremos contiguos de las dos superceldas no se superponen y la porción del interconector 2960 conectada al contacto de extremo de superficie frontal de una de las dos superceldas puede ser visible desde la superficie frontal del módulo solar. Opcionalmente, en dichas variaciones, la porción del interconector que de otro modo es visible desde la parte frontal del módulo, se puede cubrir o colorear (por ejemplo, oscurecerse) para reducir el contraste visible entre el interconector y las superceldas, como se percibe por una persona que ve los colores con normalidad. El interconector 2960 se puede extender paralelo a los bordes contiguos de las dos superceldas más allá de los bordes laterales de las superceldas para conectar eléctricamente el par de superceldas en paralelo con un par de superceldas dispuestas de forma similar en una fila contigua.

Un conductor de banda 2970 se puede unir de forma conductora al interconector 2960, como se muestra, para conectar eléctricamente los extremos contiguos de las dos superceldas a componentes eléctricos (por ejemplo, diodos de derivación y/o terminales de módulo en una caja de conexiones) en la superficie trasera del módulo solar. En otra variación (no mostrada), un conductor de banda 2970 puede estar conectado eléctricamente al contacto de superficie

trasera de una de las superceldas superpuestas lejos de sus extremos superpuestos, en lugar de estar unido de forma conductora a un interconector 2960. Esa configuración también puede proporcionar una toma oculta a uno o más diodos de derivación u otros componentes eléctricos en la superficie trasera del módulo solar.

5 El interconector 2960 se puede troquelar opcionalmente a partir de una lámina conductora, por ejemplo, y se pueden formar patrones en el mismo opcionalmente para incrementar su resiliencia mecánica tanto de forma perpendicular como paralela a los bordes de las superceldas para reducir o acomodar la tensión perpendicular y paralela a los bordes de las superceldas que surge de la discrepancia entre el CTE del interconector y el de las superceldas. Dicha formación de patrones puede incluir, por ejemplo, hendiduras, ranuras (como se muestra) u orificios. La resiliencia mecánica del interconector flexible, y sus uniones a las superceldas, debería ser suficiente para que las superceldas interconectadas resistan la tensión que surge de la discrepancia de CTE durante el proceso de laminación descrito con más detalle a continuación. El interconector flexible se puede unir a las superceldas con, por ejemplo, un material de unión eléctricamente conductor con resiliencia mecánica, como se describe anteriormente para su uso en la unión de celdas solares superpuestas. Opcionalmente, el material de unión eléctricamente conductor puede estar localizado solo en posiciones discretas a lo largo de los bordes de las superceldas en lugar de en una línea continua que se extiende sustancialmente a lo largo del borde de las superceldas, para reducir o acomodar la tensión paralela a los bordes de las superceldas que surge de la discrepancia entre el coeficiente de expansión térmica del material de unión eléctricamente conductor o el interconector y el de las superceldas. El interconector 2960 se puede cortar de una lámina de cobre delgada, por ejemplo.

20 Los modos de realización pueden incluir uno o más rasgos característicos descritos en los siguientes documentos de publicación de patente de EE. UU.: publicación de patente de EE. UU. n.º 2014/0124013; y publicación de patente de EE. UU. n.º 2014/0124014.

25 Esta memoria descriptiva divulga módulos solares de alta eficacia que comprenden celdas solares de silicio dispuestas de manera solapada y conectadas eléctricamente en serie para formar superceldas, con las superceldas dispuestas en filas físicamente paralelas en el módulo solar. Las superceldas pueden tener longitudes que abarcan esencialmente toda la longitud o anchura del módulo solar, por ejemplo, o dos o más superceldas pueden estar dispuestas de extremo a extremo en una fila. Esta disposición oculta las interconexiones eléctricas de celda solar a celda solar y, por lo tanto, se puede usar para crear un módulo solar visualmente atractivo con poco o ningún contraste entre celdas solares contiguas conectadas en serie.

35 Una supercelda puede comprender cualquier número de celdas solares, incluyendo, en algunos modos de realización, al menos diecinueve celdas solares y, en determinados modos de realización, un número mayor o igual a 100 celdas solares de silicio, por ejemplo. Contactos eléctricos en localizaciones intermedias a lo largo de una supercelda pueden ser deseables para segmentar eléctricamente la supercelda en dos o más segmentos conectados en serie al tiempo que se mantiene una supercelda físicamente continua. Esta memoria descriptiva divulga disposiciones en las que dichas conexiones eléctricas se realizan con respecto a placas de contacto de superficie posterior de una o más celdas solares de silicio en la supercelda para proporcionar puntos de toma eléctrica que quedan ocultos a la vista desde la parte frontal del módulo solar y, por tanto, denominados en el presente documento "tomas ocultas". La toma oculta es la conexión eléctrica entre la parte posterior de la celda solar y un interconector conductor.

45 Esta memoria descriptiva también divulga el uso de interconectores flexibles para interconectar eléctricamente placas de contacto de terminal de supercelda de superficie frontal, placas de contacto de terminal de supercelda de superficie trasera o placas de contacto de toma oculta a otras celdas solares o a otros componentes eléctricos del módulo solar.

50 Además, esta memoria descriptiva divulga el uso de un adhesivo eléctricamente conductor para unir directamente entre sí celdas solares contiguas de una supercelda para proporcionar uniones eléctricamente conductoras con resiliencia mecánica que acomoden una discrepancia en la expansión térmica entre las superceldas y una lámina frontal de vidrio del módulo solar, en combinación con el uso de un adhesivo eléctricamente conductor para unir interconectores flexibles a las superceldas con uniones mecánicamente rígidas que obligan a los interconectores flexibles a acomodar una discrepancia en la expansión térmica entre los interconectores flexibles y las superceldas. Esto evita daños en el módulo solar que de otro modo se podrían producir como resultado del ciclo térmico del módulo solar.

55 Como se describe además a continuación, las conexiones eléctricas a las placas de contacto de toma oculta se pueden usar para conectar eléctricamente segmentos de una supercelda en paralelo con los segmentos correspondientes de una o más superceldas en filas contiguas y/o para proporcionar conexiones eléctricas al circuito de módulo solar para diversas aplicaciones, incluyendo, pero sin limitarse a, la optimización de potencia (por ejemplo, diodos de derivación, microinversores de CA/CC, convertidores de CC/CC) y aplicaciones de fiabilidad.

60 El uso de tomas ocultas como se acaba de describir puede potenciar además la apariencia estética del módulo solar

al proporcionar, en combinación con las conexiones ocultas de celda a celda, una apariencia sustancialmente negra en su totalidad para el módulo solar, y también puede incrementar la eficacia del módulo solar al permitir que una porción más grande del área de superficie del módulo se llene con las áreas activas de las celdas solares.

5 Volviendo ahora a las figuras para un entendimiento más detallado de los módulos solares descritos en esta memoria descriptiva, la figura 1 muestra una vista en sección transversal de una cadena de celdas solares conectadas en serie
10 10 dispuestas de manera solapada, con los extremos de celdas solares contiguas superpuestos y conectados eléctricamente para formar una supercelda 100. Cada celda solar 10 comprende una estructura de diodos semiconductores y contactos eléctricos a la estructura de diodos semiconductores mediante los que la corriente eléctrica generada en la celda solar 10 cuando está iluminada por la luz se puede proporcionar a una carga externa.

En los ejemplos descritos en esta memoria descriptiva, cada celda solar 10 es una celda solar rectangular de silicio cristalino que tiene patrones de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) y de superficie trasera (lado en sombra) que proporcionan contacto eléctrico a los lados opuestos de un punto de unión n-p, el patrón de metalización
15 de superficie frontal está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n y el patrón de metalización de superficie trasera está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p. Sin embargo, se pueden usar otros sistemas de materiales, estructuras de diodos, dimensiones físicas o disposiciones de contactos eléctricos si son adecuados. Por ejemplo, el patrón de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) se puede disponer sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p, y disponer el patrón de metalización de
20 superficie trasera (lado en sombra) sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n.

En referencia de nuevo a la figura 1, en la supercelda 100, celdas solares contiguas 10 están unidas directamente entre sí de forma conductora en la región en la que se superponen mediante un material de unión eléctricamente
25 conductor que conecta eléctricamente el patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar al patrón de metalización de superficie trasera de la celda solar contigua. Los materiales de unión eléctricamente conductores adecuados pueden incluir, por ejemplo, adhesivos eléctricamente conductores y películas adhesivas y cintas adhesivas eléctricamente conductoras, y soldaduras convencionales.

Las figuras 31AA y 31A muestran el uso de un interconector flexible 3160 de ejemplo intercalado parcialmente entre y
30 que interconecta eléctricamente los extremos superpuestos de dos superceldas 100 para proporcionar una conexión eléctrica al contacto de extremo de superficie frontal de una de las superceldas y al contacto de extremo de superficie trasera de la otra supercelda, interconectando de este modo las superceldas en serie. En el ejemplo ilustrado, el interconector 3160 queda oculto a la vista desde la parte frontal del módulo solar por la parte superior de las dos celdas solares superpuestas. En otra variación, los extremos contiguos de las dos superceldas no se superponen y la porción
35 del interconector 3160 conectada al contacto de extremo de superficie frontal de una de las dos superceldas puede ser visible desde la superficie frontal del módulo solar. Opcionalmente, en dichas variaciones, la porción del interconector que de otro modo es visible desde la parte frontal del módulo, se puede cubrir o colorear (por ejemplo, oscurecerse) para reducir el contraste visible entre el interconector y las superceldas, como se percibe por una persona que ve los colores con normalidad. El interconector 3160 se puede extender paralelo a los bordes contiguos de las dos
40 superceldas más allá de los bordes laterales de las superceldas para conectar eléctricamente el par de superceldas en paralelo con un par de superceldas dispuestas de forma similar en una fila contigua.

Un conductor de banda 3170 se puede unir de forma conductora al interconector 3160, como se muestra, para conectar
45 eléctricamente los extremos contiguos de las dos superceldas a componentes eléctricos (por ejemplo, diodos de derivación y/o terminales de módulo en una caja de conexiones) en la superficie trasera del módulo solar. En otra variación (no mostrada), un conductor de banda 3170 puede estar conectado eléctricamente al contacto de superficie trasera de una de las superceldas superpuestas lejos de sus extremos superpuestos, en lugar de estar unido de forma conductora a un interconector 3160. Esa configuración también puede proporcionar una toma oculta a uno o más diodos de derivación u otros componentes eléctricos en la superficie trasera del módulo solar.
50

La figura 2 muestra un módulo solar rectangular 200 de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares 100,
de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados largos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas en seis filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados largos del
55 módulo. Un módulo solar configurado de forma similar puede incluir un número mayor o menor de filas de dichas superceldas de longitud lateral que las que se muestran en este ejemplo. En otras variaciones, cada una de las superceldas puede tener una longitud aproximadamente igual a la longitud de un lado corto de un módulo solar rectangular, y estar dispuestas en filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados cortos del módulo. En aún otras disposiciones, cada fila puede comprender dos o más superceldas interconectadas eléctricamente en serie. Los módulos pueden tener lados cortos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1 metro
60 aproximadamente y lados largos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1,5 aproximadamente a 2,0 metros aproximadamente. También se puede usar cualquier otra conformación (por ejemplo, cuadrada) y dimensión

adecuadas para los módulos solares.

5 Cada supercelda en este ejemplo comprende 72 celdas solares rectangulares, teniendo cada una una anchura aproximadamente igual a 1/6 de la anchura de una oblea cuadrada o pseudocuadrada de 156 mm. También se puede usar cualquier otro número adecuado de celdas solares rectangulares de cualquier otra dimensión adecuada.

10 Las celdas solares que tienen proporciones de aspecto largas y estrechas y áreas inferiores a las de una celda solar estándar de 156 mm x 156 mm, como se ilustra, se pueden emplear de forma ventajosa para reducir las pérdidas de potencia resistiva I^2R en los módulos de celdas solares divulgados en esta memoria descriptiva. En particular, el área reducida de las celdas solares 10 en comparación con las celdas solares de silicio de tamaño estándar disminuye la corriente producida en la celda solar, reduciendo directamente la pérdida de potencia resistiva en la celda solar y en una cadena conectada en serie de dichas celdas solares.

15 Se puede realizar una toma oculta en la superficie posterior de una supercelda, por ejemplo, usando un interconector eléctrico unido de forma conductora a una o más placas de contacto de toma oculta localizadas en solo una porción de borde del patrón de metalización de superficie posterior de la celda solar. De forma alternativa, se puede realizar una toma oculta usando un interconector que discorra sustancialmente por toda la longitud de la celda solar (perpendicular al eje largo de la supercelda) y está unido de forma conductora a una pluralidad de placas de contacto de toma oculta distribuidas a lo largo de la longitud de la celda solar en el patrón de metalización de superficie posterior.

20 La figura 31A muestra un patrón de metalización de superficie posterior de celda solar 3300 de ejemplo adecuado para su uso con tomas ocultas conectadas en un borde. El patrón de metalización comprende un contacto eléctrico de aluminio continuo 3310, una pluralidad de placas de contacto de plata 3315 dispuestas paralelas y contiguas al borde de un lado largo de la superficie posterior de la celda solar, y placas de contacto de toma oculta de plata 3320, cada una dispuesta paralela a un borde contiguo de uno de los lados cortos de la superficie posterior de la celda solar. Cuando la celda solar está dispuesta en una supercelda, las placas de contacto 3315 se superponen por y se unen directamente a la superficie frontal de una celda solar rectangular contigua. Un interconector se puede unir de forma conductora a una o a la otra de las placas de contacto de toma oculta 3320 para proporcionar una toma oculta a la supercelda. (Se pueden emplear dos interconectores de este tipo para proporcionar dos tomas ocultas, si se desea).

30 En la disposición mostrada en la figura 31A, el flujo de corriente hacia la toma oculta es a través de la metalización de celda de superficie posterior en general paralela a los lados largos de la celda solar hasta el punto de agregación de interconector (contacto 3320). Para facilitar el flujo de corriente a lo largo de esta ruta, la resistencia laminar de metalización de superficie posterior es preferentemente inferior o igual a 5 ohmios por cuadrado aproximadamente, o inferior o igual a 2,5 ohmios por cuadrado aproximadamente.

40 La figura 31B muestra otro patrón de metalización de superficie posterior de celda solar 3301 de ejemplo adecuado para su uso con tomas ocultas que emplean un interconector similar a un bus a lo largo de la superficie posterior de una celda solar. El patrón de metalización comprende un contacto eléctrico de aluminio continuo 3310, una pluralidad de placas de contacto de plata 3315 dispuestas paralelas y contiguas al borde de un lado largo de la superficie posterior de la celda solar, y una pluralidad de placas de contacto de toma oculta de plata 3325 dispuestas en una fila paralela a los lados largos de la celda solar y aproximadamente centrada en la superficie posterior de la celda solar. Un interconector que discurre sustancialmente por toda la longitud de la celda solar se puede unir de forma conductora a las placas de contacto de toma oculta 3325 para proporcionar una toma oculta a la supercelda. El flujo de corriente hacia la toma oculta se realiza principalmente a través del interconector similar a un bus, lo que hace que la conductividad del patrón de metalización de superficie posterior sea menos importante para la toma oculta.

50 La localización y el número de placas de contacto de toma oculta a las que se une el interconector de toma oculta en la superficie posterior de una celda solar afecta a la longitud de la ruta de corriente a través de la metalización de superficie posterior de la celda solar, las placas de contacto de toma oculta y el interconector. En consecuencia, la disposición de las placas de contacto de toma oculta se puede seleccionar para minimizar la resistencia a la captación de corriente en la ruta de corriente hacia y a través del interconector de toma oculta. Además de las configuraciones mostradas en las figuras 31A-31B (y la figura 31C analizada a continuación), disposiciones adecuadas de placa de contacto de toma oculta pueden incluir, por ejemplo, una matriz bidimensional y una fila que discurre perpendicular al eje largo de la celda solar. En el segundo caso, la fila de placas de contacto de toma oculta puede estar localizada de forma contigua a un borde corto de la primera celda solar, por ejemplo.

60 La figura 31C muestra otro patrón de metalización de superficie posterior de celda solar 3303 de ejemplo adecuado para su uso con tomas ocultas conectadas en un borde o bien tomas ocultas que emplean un interconector similar a un bus a lo largo de la superficie posterior de una celda solar. El patrón de metalización comprende una placa de contacto de cobre continua 3315 dispuesta paralela y contigua al borde de un lado largo de la superficie posterior de

- la celda solar, una pluralidad de dedos de cobre 3317 conectados a y que se extienden de manera perpendicular desde la placa de contacto 3315, y una placa de contacto continua de toma oculta de bus de cobre 3325 que discurre paralela a los lados largos de la celda solar y aproximadamente centrada en la superficie posterior de la celda solar. Un interconector conectado en un borde se puede unir a una porción de extremo del bus de cobre 3325 para proporcionar una toma oculta a la supercelda. (Se pueden emplear dos interconectores de este tipo en cualquier extremo del bus de cobre 3325 para proporcionar dos tomas ocultas, si se desea). De forma alternativa, un interconector que discurre sustancialmente por toda la longitud de la celda solar se puede unir de forma conductora al bus de cobre 3325 para proporcionar una toma oculta a la supercelda.
- El interconector empleado para formar la toma oculta se puede unir a la placa de contacto de toma oculta en el patrón de metalización de superficie posterior mediante soldadura blanda, soldadura autógena, un adhesivo conductor o de cualquier otra manera adecuada. En cuanto a patrones de metalización que emplean placas de plata como se ilustra en las figuras 31A-31B, el interconector se puede formar, por ejemplo, a partir de cobre revestido con estaño. Otro enfoque es fabricar la toma oculta directamente en el contacto de superficie posterior de aluminio 3310 con un conductor de aluminio que forme una unión de aluminio con aluminio, que se puede formar, por ejemplo, mediante soldadura autógena eléctrica o por láser, soldadura blanda o un adhesivo conductor. En determinados modos de realización, los contactos pueden comprender estaño. En los casos que se acaban de describir, la metalización de superficie posterior de la celda solar carecería de placas de contacto de plata 3320 (figura 31A) o 3325 (figura 31B), pero un interconector de aluminio conectado en un borde o similar a un bus se podría unir a un contacto de aluminio (o estaño) 3310 en localizaciones correspondientes a esas placas de contacto.
- La expansión térmica diferencial entre interconectores de tomas ocultas (o interconectores a los contactos de terminal de supercelda de superficie frontal o trasera) y celdas solares de silicio, y la tensión resultante en la celda solar y el interconector pueden dar lugar a fisuras y otros modos de fallo que pueden degradar el rendimiento del módulo solar. En consecuencia, es deseable que la toma oculta y otros interconectores estén configurados para acomodar dicha expansión diferencial sin que aparezca una tensión significativa. Los interconectores pueden proporcionar alivio de tensión y expansión térmica, por ejemplo, al estar formados a partir de materiales altamente dúctiles (por ejemplo, cobre blando, láminas de cobre muy delgadas), al estar formados a partir de materiales de bajo coeficiente de expansión térmica (por ejemplo, Kovar, Invar u otras aleaciones de hierro-níquel de baja expansión térmica) o a partir de materiales que tienen un coeficiente de expansión térmica aproximadamente coincidente con el del silicio, que incorporan rasgos característicos de expansión geométrica dentro de plano, tales como hendiduras, ranuras, orificios o estructuras reticulares que acomodan la expansión térmica diferencial entre el interconector y la celda solar de silicio y/o que emplean rasgos característicos geométricos fuera de plano, tales como torceduras, desniveles u ondulaciones que acomodan dicha expansión térmica diferencial. Las porciones de los interconectores unidas a placas de contacto de toma oculta (o unidas a placas de contacto de terminal de superficie frontal o trasera de supercelda, como se describe a continuación) pueden tener un grosor de, por ejemplo, menos de 100 micrómetros aproximadamente, menos de 50 micrómetros aproximadamente, menos de 30 micrómetros aproximadamente o menos de 25 micrómetros aproximadamente para incrementar la flexibilidad de los interconectores.
- En referencia de nuevo a las figuras 7A, 7B-1 y 7B-2, estas figuras muestran varias configuraciones de interconector de ejemplo, designadas con los números de referencia 400A-400U, que emplean rasgos característicos geométricos de alivio de tensión y pueden ser adecuadas para su uso como interconectores para tomas ocultas o para conexiones eléctricas a contactos de terminal de supercelda de superficie frontal o trasera. Estos interconectores tienen típicamente una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados largos de una celda solar rectangular a la que están unidos, pero pueden tener cualquier otra longitud adecuada. Los interconectores 400A-400T de ejemplo mostrados en la figura 7A emplean diversos rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano. El interconector 400U de ejemplo mostrado en la vista dentro de plano (x-y) de la figura 7B-1 y en la vista fuera de plano (x-z) de la figura 7B-2 emplea curvas 3705 como rasgos característicos de alivio de tensión fuera de plano en una banda metálica delgada. Las curvas 3705 reducen la rigidez aparente a la tracción de la banda metálica. Las curvas permiten que el material de banda se doble localmente en lugar de solo alargarse cuando la banda está bajo tensión. Para bandas delgadas, esto puede reducir significativamente la rigidez aparente a la tracción, por ejemplo, en un 90 % o más. La cantidad exacta de reducción de la rigidez aparente a la tracción depende de varios factores, incluyendo el número de curvas, la geometría de las curvas y el grosor de la banda. Un interconector también puede emplear rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano y fuera de plano de manera combinada.
- Las figuras de 37A-1 a 38B-2, analizadas además a continuación, muestran varias configuraciones de interconector de ejemplo que emplean rasgos característicos geométricos de alivio de tensión dentro de plano y/o fuera de plano y que pueden ser adecuadas para su uso como interconectores conectados en un borde para tomas ocultas.
- Para reducir o minimizar el número de tramos de conductor necesarios para conectar cada toma oculta, se puede utilizar un bus de interconector de toma oculta. Este enfoque conecta entre sí placas de contacto de toma oculta de

supercelda contiguas usando un interconector de toma oculta. (La conexión eléctrica es típicamente de positivo a positivo o de negativo a negativo, es decir, la misma polaridad en cada extremo).

5 Por ejemplo, la figura 32 muestra un primer interconector de toma oculta 3400 que discurre sustancialmente por toda la anchura de una celda solar 10 en una primera supercelda 100 y unido de forma conductora a placas de contacto de toma oculta 3325 dispuestas como se muestra en la figura 31B, y un segundo interconector de toma oculta 3400 que discurre por toda la anchura de una celda solar correspondiente en una supercelda 100 en una fila contigua y, de forma similar, unido de forma conductora a placas de contacto de toma oculta 3325 dispuestas como se muestra en la figura 31B. Los dos interconectores 3400 están dispuestos en línea con y, opcionalmente, colindando o superponiéndose entre sí, y pueden estar unidos entre sí de forma conductora o estar conectados eléctricamente de otro modo para formar un bus que interconecta las dos superceldas contiguas. Este esquema se puede extender a través de filas adicionales (por ejemplo, todas las filas) de superceldas según se desee para formar un segmento paralelo de un módulo solar que comprende segmentos de varias superceldas contiguas. La figura 33 muestra una vista en perspectiva de una porción de una supercelda de la figura 32.

15 La figura 35 muestra un ejemplo en el que superceldas en filas contiguas están interconectadas mediante un interconector corto 3400 que abarca el hueco entre las superceldas y está unido de forma conductora a una placa de contacto de toma oculta 3320 en una supercelda y a otra placa de contacto de toma oculta 3320 en la otra supercelda, con las placas de contacto dispuestas como se muestra en la figura 32A. La figura 36 muestra una disposición similar en la que un interconector corto abarca el hueco entre dos superceldas en filas contiguas y está unido de forma conductora al extremo de una porción central de bus de cobre de la metalización de superficie posterior en una supercelda y a un extremo contiguo de una porción central de bus de cobre de la metalización de superficie posterior de la otra supercelda, con la metalización de superficie posterior de cobre configurada como se muestra en la figura 31C. En ambos ejemplos, los esquemas de interconexión se pueden extender a través de filas adicionales (por ejemplo, todas las filas) de superceldas según se desee para formar un segmento paralelo de un módulo solar que comprende segmentos de varias superceldas contiguas.

20 Las figuras de 37A-1 a 37F-3 muestran vistas dentro de plano (x-y) y fuera de plano (x-z) de interconectores cortos de toma oculta 3400 de ejemplo que comprenden rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano 3405. (El plano x-y es el plano del patrón de metalización de superficie posterior de celda solar). En los ejemplos de las figuras 37A-1 a 37E-2, cada interconector 3400 comprende lengüetas 3400A y 3400B situadas en lados opuestos de uno o más rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano. Ejemplos de rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano incluyen disposiciones de una, dos o más conformaciones de diamante hueco, zigzag y disposiciones de una, dos o más ranuras.

35 El término "rasgo característico de alivio de tensión dentro de plano", como se usa en el presente documento, también se puede referir al grosor o ductilidad del interconector o de una porción del interconector. Por ejemplo, el interconector 3400 mostrado en las figuras de 37F-1 a 37F-3 está formado a partir de una longitud plana recta de una banda de cobre o chapa de cobre delgada que tiene un grosor T en el plano x-y, por ejemplo, inferior o igual a 100 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 30 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 25 micrómetros aproximadamente para incrementar la flexibilidad del interconector. El grosor T puede ser, por ejemplo, de 50 micrómetros aproximadamente. La longitud L del interconector puede ser, por ejemplo, de 8 centímetros (cm) aproximadamente y la anchura W del interconector puede ser, por ejemplo, de 0,5 cm aproximadamente. Las figuras 37F-3 y 37F-1 muestran, respectivamente, vistas de las superficie frontal y trasera del interconector en el plano x-y. La superficie frontal del interconector está orientada hacia la superficie trasera del módulo solar. Debido a que el interconector puede abarcar el hueco entre dos filas paralelas de superceldas en un módulo solar, una porción del interconector puede ser visible a través de ese hueco desde la parte frontal del módulo solar. Opcionalmente, esa porción visible del interconector se puede ennegrecer, por ejemplo, cubrir con una capa de polímero negro, para reducir su visibilidad. En el ejemplo ilustrado, una porción central 3400C de la superficie frontal del interconector que tiene una longitud L2 de 0,5 cm aproximadamente está cubierta con una delgada capa de polímero negro. Típicamente, L2 es mayor que o igual a la anchura del hueco entre las filas de las superceldas. La capa de polímero negro puede tener un grosor de, por ejemplo, 20 micrómetros aproximadamente. Un interconector de banda de cobre delgada de este tipo también puede emplear, opcionalmente, rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano o fuera de plano como se describe anteriormente. Por ejemplo, el interconector puede incluir curvas de alivio de tensión fuera de plano, como se describe anteriormente con respecto a las figuras 7B-1 y 7B-2.

40 El término "rasgo característico de alivio de tensión fuera de plano", como se usa en el presente documento, también se puede referir al grosor o ductilidad del interconector o de una porción del interconector. Por ejemplo, el interconector 3400 mostrado en las figuras de 37F-1 a 37F-3 está formado a partir de una longitud plana recta de una banda de cobre o chapa de cobre delgada que tiene un grosor T en el plano x-y, por ejemplo, inferior o igual a 100 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 30 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 25 micrómetros aproximadamente para incrementar la flexibilidad del interconector. El grosor T puede ser, por ejemplo, de 50 micrómetros aproximadamente. La longitud L del interconector puede ser, por ejemplo, de 8 centímetros (cm) aproximadamente y la anchura W del interconector puede ser, por ejemplo, de 0,5 cm aproximadamente. Las figuras 37F-3 y 37F-1 muestran, respectivamente, vistas de las superficie frontal y trasera del interconector en el plano x-y. La superficie frontal del interconector está orientada hacia la superficie trasera del módulo solar. Debido a que el interconector puede abarcar el hueco entre dos filas paralelas de superceldas en un módulo solar, una porción del interconector puede ser visible a través de ese hueco desde la parte frontal del módulo solar. Opcionalmente, esa porción visible del interconector se puede ennegrecer, por ejemplo, cubrir con una capa de polímero negro, para reducir su visibilidad. En el ejemplo ilustrado, una porción central 3400C de la superficie frontal del interconector que tiene una longitud L2 de 0,5 cm aproximadamente está cubierta con una delgada capa de polímero negro. Típicamente, L2 es mayor que o igual a la anchura del hueco entre las filas de las superceldas. La capa de polímero negro puede tener un grosor de, por ejemplo, 20 micrómetros aproximadamente. Un interconector de banda de cobre delgada de este tipo también puede emplear, opcionalmente, rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano o fuera de plano como se describe anteriormente. Por ejemplo, el interconector puede incluir curvas de alivio de tensión fuera de plano, como se describe anteriormente con respecto a las figuras 7B-1 y 7B-2.

45 Las figuras de 38A-1 a 38B-2 muestran vistas dentro de plano (x-y) y fuera de plano (x-z) de interconectores cortos de toma oculta 3400 de ejemplo que comprenden rasgos característicos de alivio de tensión fuera de plano 3407. En los ejemplos, cada interconector 3400 comprende lengüetas 3400A y 3400B situadas en lados opuestos de uno o más rasgos característicos de alivio de tensión fuera de plano. Ejemplos de rasgos característicos de alivio de tensión fuera de plano incluyen disposiciones de una, dos o más curvas, torceduras, ondulaciones, desniveles o resaltes.

También se pueden emplear los tipos y disposiciones de los rasgos característicos de alivio de tensión ilustrados en las figuras de 37A-1 a 37E-2 y de 38A-1 a 38B-2, y los grosores de banda de interconector descritos anteriormente con respecto a las figuras de 37F-1 a 37F-3, en interconectores largos de toma oculta como se describe anteriormente y en interconectores unidos a contactos de terminal de superficie trasera o frontal de supercelda, según convenga. Un interconector puede comprender rasgos característicos de alivio de tensión tanto dentro de plano como fuera de plano de manera combinada. Los rasgos característicos de alivio de tensión dentro de plano y fuera de plano están diseñadas para reducir o minimizar los efectos del esfuerzo y la tensión en la junta de celda solar y, de este modo, crear conexiones eléctricas altamente fiables y resistentes.

Las figuras 39A-1 y 39A-2 muestran configuraciones de ejemplo de interconectores cortos de toma oculta que comprenden rasgos característicos de alineación de placa de contacto de celda y de alineación de borde de supercelda para facilitar la automatización, la facilidad de fabricación y la exactitud de colocación. Las figuras 39B-1 y 39B-2 muestran una configuración de ejemplo de interconectores cortos de toma oculta que comprenden longitudes de lengüeta asimétricas. Dichos interconectores asimétricos se pueden usar en orientaciones opuestas para evitar la superposición de conductores que discurren en paralelo al eje largo de las superceldas. (Véase el análisis de las figuras 42A-42B a continuación).

Las tomas ocultas, como se describe en el presente documento, pueden formar las conexiones eléctricas necesarias en el diseño de módulos para proporcionar un circuito eléctrico de módulo deseado. Las conexiones de toma oculta se pueden realizar, por ejemplo, a intervalos de 12, 24, 36 o 48 celdas solares a lo largo de una supercelda, o en cualquier otro intervalo adecuado. El intervalo entre tomas ocultas se puede determinar en base a la aplicación.

Cada supercelda comprende típicamente un contacto de terminal de superficie frontal en un extremo de la supercelda y un contacto de terminal de superficie trasera en el otro extremo de la supercelda. En variaciones en las que una supercelda abarca la longitud o anchura del módulo solar, estos contactos de terminal están localizados de forma contigua a bordes opuestos del módulo solar.

Un interconector flexible se puede unir de forma conductora a un contacto de terminal de superficie frontal o trasera de una supercelda para conectar eléctricamente la supercelda a otras celdas solares o a otros componentes eléctricos en el módulo. Por ejemplo, la figura 34A muestra una vista en sección transversal de un módulo solar de ejemplo con un interconector 3410 unido de forma conductora a un contacto de terminal de superficie trasera en el extremo de una supercelda. El interconector de contacto de terminal de superficie trasera 3410 puede ser o comprender, por ejemplo, una banda o chapa de cobre delgada que tiene un grosor perpendicular a la superficie de la celda solar a la que está unido que es inferior o igual a 100 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 30 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 25 micrómetros aproximadamente para incrementar la flexibilidad del interconector. El interconector puede tener una anchura que es, por ejemplo, superior o igual a 10 mm aproximadamente en el plano de la superficie de la celda solar en una dirección perpendicular al flujo de corriente a través del interconector para mejorar la conducción. Como se ilustra, un interconector de contacto de terminal de superficie trasera 3410 puede estar detrás de las celdas solares, sin que ninguna porción del interconector se extienda más allá de la supercelda en la dirección paralela a la fila de superceldas.

Se pueden usar interconectores similares para la conexión a contactos de terminal de superficie frontal. De forma alternativa, para reducir el área de la superficie frontal del módulo solar ocupada por interconectores de terminal de superficie frontal, un interconector de superficie frontal puede comprender una porción flexible delgada unida directamente a la supercelda y una porción más gruesa que proporciona una mayor conductividad. Esta disposición reduce la anchura del interconector necesaria para lograr una conductividad deseada. La porción más gruesa del interconector puede ser una porción solidaria del interconector, por ejemplo, o puede ser una pieza separada unida a la porción más delgada del interconector. Por ejemplo, cada una de las figuras 34B-34C muestra una vista en sección transversal de un interconector 3410 de ejemplo unido de forma conductora a un contacto de terminal de superficie frontal en un extremo de una supercelda. En ambos ejemplos, una porción delgada y flexible 3410A del interconector unida directamente a la supercelda comprende una banda o chapa de cobre delgada que tiene un grosor perpendicular a la superficie de la celda solar a la que está unido que es inferior o igual a 100 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente, inferior o igual a 30 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 25 micrómetros aproximadamente. Una porción de banda de cobre más gruesa 3410B del interconector está unida a la porción delgada 3410A para mejorar la conductividad del interconector. En la figura 34B, una cinta eléctricamente conductora 3410C en la superficie trasera de la porción delgada de interconector 3410A une la porción delgada de interconector a la supercelda y a la porción gruesa de interconector 3410B. En la figura 34C, la porción delgada de interconector 3410A está unida a la porción gruesa de interconector 3410B con un adhesivo eléctricamente conductor 3410D y unida a la supercelda con un adhesivo eléctricamente conductor 3410E. Los adhesivos eléctricamente conductores 3410D y 3410E pueden ser iguales o diferentes. El adhesivo eléctricamente conductor 3410E puede ser,

por ejemplo, una soldadura.

Los módulos solares descritos en esta memoria descriptiva pueden comprender una estructura laminada como se muestra en la figura 34A, con superceldas y uno o más materiales encapsulantes 3610 intercalados entre una lámina frontal transparente 3620 y una lámina posterior 3630. La lámina frontal transparente puede ser de vidrio, por ejemplo. La lámina posterior también puede ser de vidrio o de cualquier otro material adecuado. Se puede disponer una tira adicional de encapsulante entre un interconector de terminal de superficie trasera 3410 y la superficie trasera de la supercelda, como se ilustra.

Como se indica anteriormente, las tomas ocultas ofrecen una estética de módulo "todo negro". Debido a que estas conexiones se realizan con conductores que, típicamente, son altamente reflectantes, normalmente contrastarían mucho con las celdas solares acopladas. Sin embargo, al formarse las conexiones en la superficie posterior de las celdas solares y también al enrutar otros conductores del circuito del módulo solar detrás de las celdas solares, los diversos conductores quedan ocultos a la vista. Esto permite múltiples puntos de conexión (tomas ocultas) al mismo tiempo que se mantiene la apariencia de "todo negro".

Las tomas ocultas se pueden usar para formar diversos diseños de módulo. En el ejemplo de la figura 40 (diseño físico) y la figura 41 (esquema eléctrico), un módulo solar comprende seis superceldas, de las que cada una discurre a lo largo del módulo. Las placas de contacto de toma oculta y los interconectores cortos 3400 segmentan cada supercelda en tercios y conectan eléctricamente los segmentos de supercelda contiguos en paralelo, formando de este modo tres grupos de segmentos de supercelda conectados en paralelo. Cada grupo está conectado en paralelo con un diodo diferente de los diodos de derivación 1300A-1300C incorporados (incrustados) en la construcción laminada del módulo. Los diodos de derivación pueden estar localizados, por ejemplo, directamente detrás de las superceldas o entre las superceldas. Los diodos de derivación pueden estar localizados aproximadamente a lo largo de una línea central del módulo solar paralela a los lados largos del módulo solar, por ejemplo.

En el ejemplo de las figuras 42A-42B (que también corresponde al esquema eléctrico de la figura 41), un módulo solar comprende seis superceldas, de las que cada una discurre a lo largo del módulo. Las placas de contacto de toma oculta y los interconectores cortos 3400 segmentan cada supercelda en tercios y conectan eléctricamente los segmentos de supercelda contiguos en paralelo, formando de este modo tres grupos de segmentos de supercelda conectados en paralelo. Cada grupo está conectado en paralelo con un diodo diferente de los diodos de derivación 1300A-1300C a través de conexiones de bus 1500A-1500C, que están localizadas detrás de las superceldas y conectan las placas de contacto de toma oculta y los interconectores cortos a los diodos de derivación localizados en la parte posterior del módulo dentro de una caja de conexiones.

La figura 42B proporciona una vista detallada de la conexión de los interconectores cortos de toma oculta 3400 y los conductores 1500B y 1500C. Como se representa, estos conductores no se superponen entre sí. En el ejemplo ilustrado, esto se posibilita mediante el uso de interconectores asimétricos 3400 dispuestos en orientaciones opuestas. Un enfoque alternativo para evitar la superposición de los conductores es emplear un primer interconector simétrico 3400 que tenga lengüetas de una longitud y un segundo interconector simétrico 3400 que tenga lengüetas de una longitud diferente.

En el ejemplo de la figura 43 (que también corresponde al esquema eléctrico de la figura 41), un módulo solar está configurado de forma similar a como se muestra en la figura 42A, excepto que los interconectores de toma oculta 3400 forman buses continuos que discurren sustancialmente por toda la anchura del módulo solar. Cada bus puede ser un único interconector largo 3400 unido de forma conductora a la metalización de superficie posterior de cada supercelda. De forma alternativa, el bus puede comprender múltiples interconectores individuales, de los que cada uno abarca una única supercelda, unidos entre sí de forma conductora o interconectados eléctricamente de otro modo, como se describe anteriormente con respecto a la figura 41. La figura 43 también muestra interconectores de terminal de supercelda 3410 que forman un bus continuo a lo largo de un extremo del módulo solar para conectar eléctricamente los contactos de terminal de superficie frontal de las superceldas, e interconectores de terminal de supercelda 3410 adicionales que forman un bus continuo a lo largo del extremo opuesto del módulo solar para conectar eléctricamente los contactos de terminal de superficie trasera de las superceldas.

El módulo solar de ejemplo de las figuras 44A-44B también corresponde al esquema eléctrico de la figura 41. Este ejemplo emplea interconectores cortos de toma oculta 3400 como en la figura 42A e interconectores 3410 que forman buses continuos para los contactos de terminal de superficie frontal y trasera de supercelda, como en la figura 43.

En el ejemplo de la figura 47A (diseño físico) y la figura 47B (esquema eléctrico), un módulo solar comprende seis superceldas, de las que cada una discurre por toda la longitud del módulo solar. Las placas de contacto de toma oculta y los interconectores cortos 3400 segmentan cada supercelda en una sección de 2/3 de longitud y una sección de 1/3

de longitud. Los interconectores 3410 en el borde inferior del módulo solar (como se representa en el dibujo) interconectan las tres filas de la izquierda en paralelo entre sí, las tres filas de la derecha en paralelo entre sí y las tres filas de la izquierda en serie con las tres filas de la derecha. Esta disposición forma tres grupos de segmentos de supercelda conectados en paralelo, teniendo cada grupo de supercelda una longitud de $\frac{2}{3}$ de la longitud de una supercelda. Cada grupo está conectado en paralelo con un diodo diferente de los diodos de derivación 2000A-2000C. Esta disposición proporciona aproximadamente el doble de voltaje y aproximadamente la mitad de la corriente de lo que se proporcionaría por las mismas superceldas si, en su lugar, estuvieran conectadas eléctricamente como se muestra en la figura 41.

Como se indica anteriormente con referencia a la figura 34A, los interconectores unidos a los contactos de terminal de superficie trasera de supercelda pueden estar, en su totalidad, detrás de las superceldas y quedar ocultos a la vista desde el lado frontal (sol) del módulo solar. Los interconectores 3410 unidos a los contactos de terminal de superficie frontal de supercelda pueden ser visibles en una vista trasera del módulo solar (por ejemplo, como en la figura 43) porque se extienden más allá de los extremos de las superceldas (por ejemplo, como en la figura 44A) o porque se doblan alrededor y debajo de los extremos de las superceldas.

El uso de tomas ocultas facilita la agrupación de pequeñas cantidades de celdas solares por diodo de derivación. En los ejemplos de las figuras 48A-48B (de las que cada una muestra un diseño físico), un módulo solar comprende seis superceldas, de las que cada una discurre a lo largo del módulo. Las placas de contacto de toma oculta y los interconectores cortos 3400 segmentan cada supercelda en quintos y conectan eléctricamente los segmentos de supercelda contiguos en paralelo, formando de este modo cinco grupos de segmentos de supercelda conectados en paralelo. Cada grupo está conectado en paralelo con un diodo diferente de los diodos de derivación 2100A-2100E incorporados (incrustados) en la construcción laminada del módulo. Los diodos de derivación pueden estar localizados, por ejemplo, directamente detrás de las superceldas o entre las superceldas. Los interconectores de terminal de supercelda 3410 forman un bus continuo a lo largo de un extremo del módulo solar para conectar eléctricamente los contactos de terminal de superficie frontal de las superceldas, e interconectores de terminal de supercelda 3410 adicionales forman un bus continuo a lo largo del extremo opuesto del módulo solar para conectar eléctricamente los contactos de terminal de superficie trasera de las superceldas. En el ejemplo de la figura 48A, una única caja de conexiones 2110 está conectada eléctricamente a los buses de interconector de terminal de superficie frontal y trasera mediante conductores 2115A y 2115B. Sin embargo, no hay diodos en la caja de conexiones, por lo que, de forma alternativa (figura 48B) se pueden eliminar los conductores de retorno largos 2215A y 2115B y reemplazar la única caja de conexiones 2110 por dos cajas de conexiones de polaridad única (+ o -) 2110A-2110B localizadas, por ejemplo, en bordes opuestos del módulo. Esto elimina la pérdida resistiva en los conductores de retorno largos.

Aunque los ejemplos descritos en el presente documento usan tomas ocultas para segmentar eléctricamente cada supercelda en tres o cinco grupos de celdas solares, estos ejemplos pretenden ser ilustrativos pero no limitantes. Más en general, se pueden usar tomas ocultas para segmentar eléctricamente una supercelda en un número mayor o menor de grupos de celdas solares que los ilustrados, y/o en un número mayor o menor de celdas solares por grupo que las ilustradas.

Durante el funcionamiento normal de los módulos solares descritos en el presente documento, sin un diodo de derivación con polarización directa y en conducción, fluye poca o ninguna corriente a través de cualquier placa de contacto de toma oculta. En su lugar, la corriente fluye a lo largo de cada supercelda a través de las uniones conductoras de celda a celda formadas entre celdas solares superpuestas contiguas. Por el contrario, la figura 45 muestra el flujo de corriente cuando una porción del módulo solar se elude a través de un diodo de derivación con polarización directa. Como se indica por las flechas, en este ejemplo la corriente en la supercelda más a la izquierda fluye a lo largo de la supercelda hasta que llega a la celda solar con tomas, a continuación a través de la metalización de superficie posterior de esa celda solar, una placa de contacto de toma oculta (no mostrada), un interconector 3400 hasta una segunda celda solar de la supercelda contigua, otra placa de contacto de toma oculta (no mostrada) a la que está unido el interconector en la segunda celda solar, a través de la metalización de superficie posterior de la segunda celda solar, y a través de placas de contacto de toma oculta, interconectores y metalización de superficie posterior de celda solar adicionales hasta llegar a la conexión de bus 1500 con el diodo de derivación. El flujo de corriente a través de las otras superceldas es similar. Como se desprende de la ilustración, en dichas circunstancias, las placas de contacto de toma oculta pueden conducir corriente desde dos o más filas de superceldas y, por tanto, conducir una corriente mayor que la corriente generada en cualquier celda solar individual del módulo.

Típicamente, no hay ninguna barra colectora, placa de contacto u otro elemento de bloqueo de luz (aparte de los dedos de metalización de superficie frontal o una porción superpuesta de una celda solar contigua) en la superficie frontal de una celda solar opuesta a una placa de contacto de toma oculta. En consecuencia, si la placa de contacto de toma oculta está formada a partir de plata en una celda solar de silicio, la eficacia de conversión de luz de la celda solar en la región de la placa de contacto de toma oculta se puede reducir si la placa de contacto de plata reduce el efecto de

un campo de superficie posterior que evita la recombinación de portadores de superficie posterior. Para evitar esta pérdida de eficacia, típicamente la mayoría de las celdas solares de una supercelda no comprenden placas de contacto de toma oculta. (Por ejemplo, en algunas variaciones, sólo aquellas celdas solares para las que es necesaria una placa de contacto de toma oculta para un circuito de diodo de derivación comprenderán una placa de contacto de toma oculta de este tipo). Además, para hacer coincidir la generación de corriente en celdas solares que incluyen placas de contacto de toma oculta con la generación de corriente en celdas solares que carecen de placas de contacto de toma oculta, las celdas solares que comprenden placas de contacto de toma oculta pueden tener un área de captación de luz más grande que las celdas solares que carecen de placas de contacto de toma oculta.

Placas de contacto de toma oculta individuales pueden tener dimensiones rectangulares, por ejemplo, inferiores o iguales a 2 mm aproximadamente por inferiores o iguales a 5 mm aproximadamente.

Los módulos solares están sujetos a ciclos de temperatura como resultado de las variaciones de temperatura en su entorno instalado, durante el funcionamiento y durante las pruebas. Como se muestra en la figura 46A, durante dichos ciclos de temperatura, una discrepancia en la expansión térmica entre las celdas solares de silicio de la supercelda y otras porciones del módulo, por ejemplo, una lámina frontal de vidrio del módulo, da como resultado un movimiento relativo entre la supercelda y las otras porciones del módulo a lo largo del eje largo de las filas de superceldas. Esta discrepancia tiende a estirar o comprimir las superceldas y puede dañar las celdas solares o las uniones conductoras entre celdas solares de las superceldas. De forma similar, como se muestra en la figura 46B, durante los ciclos de temperatura, una discrepancia en la expansión térmica entre un interconector unido a una celda solar y la celda solar da como resultado un movimiento relativo entre el interconector y la celda solar en la dirección perpendicular a las filas de superceldas. Esta discrepancia tensa y puede dañar las celdas solares, el interconector y la unión conductora entre las mismas. Esto se puede producir en interconectores unidos a placas de contacto de toma oculta y en interconectores unidos a contactos de terminal de superficie frontal o trasera de supercelda.

De forma similar, la carga mecánica cíclica de un módulo solar, por ejemplo, durante su transporte o por el clima (por ejemplo, viento y nieve), puede crear fuerzas de cizalladura locales en las uniones de celda a celda dentro de una supercelda y en la unión entre una celda solar y un interconector. Estas fuerzas de cizalladura también pueden dañar el módulo solar.

Para evitar los problemas que surgen del movimiento relativo entre las superceldas y otras porciones del módulo solar a lo largo del eje largo de las filas de superceldas, el adhesivo conductor usado para unir entre sí celdas solares superpuestas contiguas se puede seleccionar para formar una unión conductora flexible 3515 (figura 46A) entre celdas solares superpuestas que proporciona resiliencia mecánica a las superceldas que acomodan una discrepancia en la expansión térmica entre las superceldas y una lámina frontal de vidrio del módulo en una dirección paralela a las filas para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 100 °C aproximadamente sin dañar el módulo solar. El adhesivo conductor se puede seleccionar para formar uniones conductoras que tengan un módulo de cizalladura en condiciones de prueba estándar (es decir, 25 °C), por ejemplo, inferior o igual a 100 megapascales (MPa) aproximadamente, inferior o igual a 200 MPa aproximadamente, inferior o igual a 300 MPa aproximadamente, inferior o igual a 400 MPa aproximadamente, inferior o igual a 500 MPa aproximadamente, inferior o igual a 600 MPa aproximadamente, inferior o igual a 700 MPa aproximadamente, inferior o igual a 800 MPa aproximadamente, inferior o igual a 900 MPa aproximadamente, o inferior o igual a 1000 MPa aproximadamente. Las uniones conductoras flexibles entre celdas solares contiguas superpuestas pueden acomodar un movimiento diferencial entre cada celda y la lámina frontal de vidrio superior o igual a 15 micrómetros aproximadamente, por ejemplo. Adhesivos conductores adecuados pueden incluir, por ejemplo, ECM 1541-S3 disponible a través de Engineered Conductive Materials LLC.

Para favorecer el flujo de calor a lo largo de una supercelda, lo que reduce el riesgo de daño al módulo solar debido a puntos críticos que pueden surgir durante el funcionamiento del módulo solar si una celda solar del módulo tiene polarización inversa como resultado del ensombrecimiento o por algún otro motivo, se pueden formar uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas con, por ejemplo, un grosor perpendicular a las celdas solares inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente y una conductividad térmica perpendicular a las celdas solares superior o igual a 1,5 W/(metro-K) aproximadamente.

Para evitar problemas que surgen del movimiento relativo entre un interconector y una celda solar a la que está unido, el adhesivo conductor usado para unir el interconector a la celda solar se puede seleccionar para formar una unión conductora entre la celda solar y el interconector que sea lo suficientemente rígida como para obligar al interconector a acomodar una discrepancia en la expansión térmica entre la celda solar y el interconector para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 180 °C aproximadamente sin dañar el módulo solar. Este adhesivo conductor se puede seleccionar para formar una unión conductora que tenga un módulo de cizalladura en condiciones de prueba estándar (es decir, 25 °C), por ejemplo, superior o igual a 1800 MPa aproximadamente, superior o igual a 1900 MPa aproximadamente, superior o igual a 2000 MPa aproximadamente, superior o igual a 2100 MPa

aproximadamente, superior o igual a 2200 MPa aproximadamente, superior o igual a 2300 MPa aproximadamente, superior o igual a 2400 MPa aproximadamente, superior o igual a 2500 MPa aproximadamente, superior o igual a 2600 MPa aproximadamente, superior o igual a 2700 MPa aproximadamente, superior o igual a 2800 MPa aproximadamente, superior o igual a 2900 MPa aproximadamente, superior o igual a 3000 MPa aproximadamente, superior o igual a 3100 MPa aproximadamente, superior o igual a 3200 MPa aproximadamente, superior o igual a 3300 MPa aproximadamente, superior o igual a 3400 MPa aproximadamente, superior o igual a 3500 MPa aproximadamente, superior o igual a 3600 MPa aproximadamente, superior o igual a 3700 MPa aproximadamente, superior o igual a 3800 MPa aproximadamente, superior o igual a 3900 MPa aproximadamente, o superior o igual a 4000 MPa aproximadamente. En dichas variaciones, el interconector puede resistir una expansión o contracción térmicas del interconector superiores o iguales a 40 micrómetros aproximadamente, por ejemplo. Adhesivos conductores adecuados pueden incluir, por ejemplo, Hitachi CP-450 y soldaduras.

Por tanto, las uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas dentro de una supercelda pueden utilizar un adhesivo conductor diferente al de las uniones conductoras entre la supercelda y el interconector eléctrico flexible. Por ejemplo, la unión conductora entre la supercelda y el interconector eléctrico flexible se puede formar a partir de una soldadura, y las uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas se pueden formar a partir de un adhesivo conductor sin soldadura. En algunas variaciones, ambos adhesivos conductores se pueden curar en una única etapa de proceso, por ejemplo, en una ventana de proceso de 150 °C aproximadamente a 180 °C aproximadamente.

El análisis anterior se ha centrado en ensamblar una pluralidad de celdas solares (que pueden ser celdas solares cortadas) de manera solapada sobre un sustrato común. Esto da como resultado la formación de un módulo.

Sin embargo, para reunir una cantidad suficiente de energía solar que sea útil, una instalación comprende típicamente un número de dichos módulos que se ensamblan juntos. De acuerdo con modos de realización, una pluralidad de módulos de celdas solares también se pueden ensamblar de manera solapada para incrementar la eficacia de área de una matriz.

En modos de realización particulares, un módulo puede presentar una banda conductora superior orientada en la dirección de la energía solar, y una banda conductora inferior orientada en sentido contrario a la dirección de la energía solar.

La banda inferior está hundida debajo de las celdas. Por tanto, no bloquea la luz entrante ni afecta negativamente a la eficacia de área del módulo. Por el contrario, la banda superior está expuesta y puede bloquear la luz entrante y afectar negativamente a la eficacia.

De acuerdo con los modos de realización, los propios módulos se pueden solapar, de modo que la banda superior queda cubierta por el módulo vecino. Esta configuración de módulo solapado también podría proporcionar un área adicional en el módulo para otros elementos, sin afectar negativamente a un área expuesta final de la matriz de módulos. Ejemplos de elementos de módulo que se pueden situar en regiones superpuestas pueden incluir, pero no se limitan a, cajas de conexiones (cajas de empalmes) y/o bandas de bus.

En determinados modos de realización, las cajas de empalmes de los respectivos módulos solapados contiguos están en una disposición de acoplamiento para lograr la conexión eléctrica entre los mismos. Esto simplifica la configuración de la matriz de módulos solapados al eliminar el cableado.

En determinados modos de realización, las cajas de empalmes se podrían reforzar y/o combinar con separadores estructurales adicionales. Una configuración de este tipo podría crear una solución integrada de bastidor montado en el tejado con módulo inclinado, en la que una dimensión de la caja de conexiones determina una inclinación. Una implementación de este tipo puede ser en particular útil cuando una matriz de módulos solapados se monta en un tejado plano.

Las superceldas solapadas ofrecen oportunidades únicas para el diseño de módulos con respecto a los dispositivos de gestión de potencia a nivel de módulo (por ejemplo, microinversores de CC/CA, optimizadores de potencia de módulos de CC/CC, conmutadores inteligentes y de inteligencia de voltaje, y dispositivos relacionados). Un rasgo característico de los sistemas de gestión de potencia a nivel de módulo es la optimización de potencia. Las superceldas, como se describen y emplean en el presente documento, pueden producir voltajes mayores que los paneles tradicionales. Además, el diseño de módulos de superceldas puede dividir aún más el módulo. Tanto los voltajes mayores como el incremento de la división crean ventajas potenciales para la optimización de la potencia.

Esta memoria descriptiva divulga módulos solares de alta eficacia (es decir, paneles solares) que comprenden celdas

solares de silicio rectangulares estrechas dispuestas de manera solapada y conectadas eléctricamente en serie para formar superceldas, con las superceldas dispuestas en filas físicamente paralelas en el módulo solar. Las superceldas pueden tener longitudes que abarcan esencialmente toda la longitud o anchura del módulo solar, por ejemplo, o dos o más superceldas pueden estar dispuestas de extremo a extremo en una fila. Cada supercelda puede incluir cualquier número de celdas solares, incluyendo, en algunas variaciones, al menos diecinueve celdas solares y, en determinadas variaciones, un número mayor o igual a 100 celdas solares de silicio, por ejemplo. Cada módulo solar puede tener un tamaño y una conformación convencionales y, aún, incluir cientos de celdas solares de silicio, lo que permite que las superceldas de un único módulo solar se interconecten eléctricamente para proporcionar un voltaje de corriente continua (CC) de, por ejemplo, 90 voltios (V) aproximadamente a 450 V aproximadamente, o más.

Como se describe además a continuación, este alto voltaje de CC facilita la conversión de corriente continua a corriente alterna (CA) mediante un inversor (por ejemplo, un microinversor localizado en el módulo solar) al eliminar o reducir la necesidad de un refuerzo de CC a CC (incremento del voltaje de CC) antes de la conversión a CA por el inversor. Como también se describe además a continuación, el alto voltaje de CC también facilita el uso de disposiciones en las que la conversión de CC/CA se realiza mediante un inversor central que recibe una salida de CC de alto voltaje desde dos o más módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje conectados eléctricamente en paralelo entre sí.

Volviendo ahora a las figuras para un entendimiento más detallado de los módulos solares descritos en esta memoria descriptiva, la figura 1 muestra una vista en sección transversal de una cadena de celdas solares conectadas en serie 10 dispuestas de manera solapada, con los extremos de celdas solares contiguas superpuestos y conectados eléctricamente para formar una supercelda 100. Cada celda solar 10 comprende una estructura de diodos semiconductores y contactos eléctricos a la estructura de diodos semiconductores mediante los que la corriente eléctrica generada en la celda solar 10 cuando está iluminada por la luz se puede proporcionar a una carga externa.

En los ejemplos descritos en esta memoria descriptiva, cada celda solar 10 es una celda solar rectangular de silicio cristalino que tiene patrones de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) y de superficie trasera (lado en sombra) que proporcionan contacto eléctrico a los lados opuestos de un punto de unión n-p, el patrón de metalización de superficie frontal está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n y el patrón de metalización de superficie trasera está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p. Sin embargo, se pueden usar otros sistemas de materiales, estructuras de diodos, dimensiones físicas o disposiciones de contactos eléctricos si son adecuados. Por ejemplo, el patrón de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) se puede disponer sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p, y disponer el patrón de metalización de superficie trasera (lado en sombra) sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n.

En referencia de nuevo a la figura 1, en la supercelda 100, celdas solares contiguas 10 están unidas entre sí de forma conductora en la región en la que se superponen mediante un material de unión eléctricamente conductor que conecta eléctricamente el patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar al patrón de metalización de superficie trasera de la celda solar contigua. Los materiales de unión eléctricamente conductores adecuados pueden incluir, por ejemplo, adhesivos eléctricamente conductores y películas adhesivas y cintas adhesivas eléctricamente conductoras, y soldaduras convencionales.

La figura 2 muestra un módulo solar rectangular 200 de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados largos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas en seis filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados largos del módulo. Un módulo solar configurado de forma similar puede incluir un número mayor o menor de filas de dichas superceldas de longitud lateral que las que se muestran en este ejemplo. En otras variaciones, cada una de las superceldas puede tener una longitud aproximadamente igual a la longitud de un lado corto de un módulo solar rectangular, y estar dispuestas en filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados cortos del módulo. En aún otras disposiciones, cada fila puede comprender dos o más superceldas interconectadas eléctricamente en serie. Los módulos pueden tener lados cortos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1 metro aproximadamente y lados largos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1,5 aproximadamente a 2,0 metros aproximadamente. También se puede usar cualquier otra conformación (por ejemplo, cuadrada) y dimensión adecuadas para los módulos solares.

En algunas variaciones, las uniones conductoras entre celdas solares superpuestas proporcionan resiliencia mecánica a las superceldas que acomodan una discrepancia en la expansión térmica entre las superceldas y una lámina frontal de vidrio del módulo solar en una dirección paralela a las filas para un intervalo de temperatura de -40 °C aproximadamente a 100 °C aproximadamente sin dañar el módulo solar.

Cada supercelda del ejemplo ilustrado comprende 72 celdas solares rectangulares, teniendo cada una una anchura igual o aproximadamente igual a 1/6 de la anchura de una oblea de silicio cuadrada o pseudocuadrada de tamaño

convencional de 156 mm y una longitud igual o aproximadamente igual a la anchura de la oblea cuadrada o pseudocuadrada. Más en general, las celdas solares de silicio rectangulares empleadas en los módulos solares descritos en el presente documento pueden tener longitudes, por ejemplo, iguales o aproximadamente iguales a la anchura de una oblea de silicio cuadrada o pseudocuadrada de tamaño convencional y anchuras, por ejemplo, iguales o aproximadamente iguales a $1/M$ de la anchura de una oblea cuadrada o pseudocuadrada de tamaño convencional, siendo M cualquier número entero ≤ 20 . M puede ser, por ejemplo, 3, 4, 5, 6 o 12. M también puede ser mayor que 20. Una supercelda puede comprender cualquier número adecuado de dichas celdas solares rectangulares.

Las superceldas del módulo solar 200 se pueden interconectar en serie mediante interconectores eléctricos (opcionalmente, interconectores eléctricos flexibles) o mediante componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo, como se describe a continuación, para proporcionar de un módulo solar de tamaño convencional un voltaje mayor que el convencional, porque el enfoque de solapamiento que se acaba de describir incorpora muchas más celdas por módulo de lo que es convencional. Por ejemplo, un módulo solar de tamaño convencional que comprenda superceldas fabricadas a partir de celdas solares de silicio con un corte de $1/8$ puede comprender más de 600 celdas solares por módulo. En comparación, un módulo solar de tamaño convencional que comprende celdas solares de silicio interconectadas y de tamaño convencional comprende típicamente 60 celdas solares aproximadamente por módulo. En los módulos solares de silicio convencionales, las celdas solares cuadradas o pseudocuadradas están típicamente interconectadas mediante bandas de cobre y están espaciadas entre sí para acomodar las interconexiones. En dichos casos, cortar las obleas cuadradas o pseudocuadradas de tamaño convencional en rectángulos estrechos reduciría la cantidad total de área de celda solar activa en el módulo y, por lo tanto, reduciría la potencia de módulo debido a los interconectores adicionales de celda a celda requeridos. Por el contrario, en los módulos solares divulgados en el presente documento, la disposición solapada oculta las interconexiones eléctricas de celda a celda debajo del área de celda solar activa. En consecuencia, los módulos solares descritos en el presente documento pueden proporcionar altos voltajes de salida sin reducir la potencia de salida de módulo porque hay poca o ninguna compensación entre la potencia de módulo y el número de celdas solares (y las interconexiones requeridas de celda a celda) en el módulo solar.

Cuando todas las celdas solares están conectadas en serie, un módulo de celdas solares solapadas como se describe en el presente documento puede proporcionar un voltaje de CC en el intervalo de 90 voltios aproximadamente a 450 voltios aproximadamente o más, por ejemplo. Como se indica anteriormente, este alto voltaje de CC puede ser ventajoso.

Por ejemplo, un microinversor dispuesto sobre o cerca de un módulo solar se puede usar para la optimización de potencia a nivel de módulo y la conversión de CC a CA. En referencia ahora a las figuras 49A-49B, convencionalmente un microinversor 4310 recibe una entrada de CC de 25 V a 40 V desde un único módulo solar 4300 y proporciona una salida de CA de 230 V para que coincida con la red conectada. El microinversor comprende típicamente dos componentes principales, un reforzador de CC/CC y un inversor de CC/CA. El reforzador de CC/CC se utiliza para incrementar el voltaje de bus de CC necesario para la conversión de CC/CA y, típicamente, es el componente más caro y con más pérdidas (pérdida de eficacia de un 2 %). Debido a que los módulos solares descritos en el presente documento proporcionan una salida de alto voltaje, la necesidad de un reforzador de CC/CC se puede reducir o eliminar (figura 49B). Esto puede reducir el coste e incrementar la eficacia y fiabilidad del módulo solar 200.

En disposiciones convencionales que usan un inversor central ("cadena") en lugar de microinversores, los módulos solares convencionales de salida de CC baja están conectados eléctricamente en serie entre sí y al inversor de cadena. El voltaje producido por la cadena de módulos solares es igual a la suma de los voltajes de los módulos individuales, porque los módulos están conectados en serie. Un intervalo de voltaje permitido determina el número máximo y mínimo de módulos en la cadena. El número máximo de módulos se establece por el voltaje de módulo y los límites de voltaje de código: por ejemplo, $N_{\text{máx}} \times V_{\text{ca}} < 600 \text{ V}$ (estándar residencial de EE. UU.) o $N_{\text{máx}} \times V_{\text{ca}} < 1000 \text{ V}$ (estándar comercial). El número mínimo de módulos en serie se establece por el voltaje de módulo y el voltaje operativo mínimo requerido por el inversor de cadena: $N_{\text{mín}} \times V_{\text{mp}} > V_{\text{Inversormín}}$. El voltaje operativo mínimo ($V_{\text{Inversormín}}$) requerido por el inversor de cadena (por ejemplo, un inversor Fronius, Powerone o SMA) está típicamente entre 180 V aproximadamente y 250 V aproximadamente. Típicamente, el voltaje operativo óptimo para el inversor de cadena es de 400 V aproximadamente.

Un único módulo de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC como se describe en el presente documento puede producir un voltaje mayor que el voltaje operativo mínimo requerido por un inversor de cadena y, opcionalmente, igual o aproximado al voltaje operativo óptimo para el inversor de cadena. Como consecuencia, los módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC descritos en el presente documento se pueden conectar eléctricamente en paralelo entre sí a un inversor de cadena. Esto evita los requisitos de longitud de cadena de cadenas de módulos conectados en serie, que pueden complicar el diseño y la instalación del sistema. Además, en una cadena de módulos solares conectados en serie, domina el módulo de menor corriente y el sistema no puede funcionar eficazmente si diferentes módulos de la cadena reciben una iluminación diferente, como puede ser el caso de módulos colocados en

diferentes pendientes de un tejado o como resultado de la sombra de los árboles. Las configuraciones de módulos de alto voltaje en paralelo descritas en el presente documento también pueden evitar estos problemas, porque la corriente a través de cada módulo solar es independiente de la corriente a través de los otros módulos solares. Además, dichas disposiciones no requieren componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo y, por tanto, pueden mejorar la fiabilidad de los módulos solares, lo que puede ser en particular importante en variaciones en las que los módulos solares se implantan sobre una azotea.

En referencia ahora a las figuras 50A-50B, como se describe anteriormente, una supercelda puede discurrir aproximadamente por toda la longitud o anchura del módulo solar. Para posibilitar conexiones eléctricas a lo largo de la supercelda, se puede integrar un punto de toma eléctrica oculto (desde la vista frontal) en la construcción del módulo solar. Esto se puede lograr conectando un conductor eléctrico a la metalización de superficie posterior de una celda solar en un extremo o localización intermedia en la supercelda. Dichas tomas ocultas permiten la segmentación eléctrica de una supercelda y posibilitan la interconexión de superceldas o segmentos de superceldas con diodos de derivación, componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo (por ejemplo, un microinversor, optimizadores de potencia, conmutadores inteligentes y de inteligencia de voltaje, y dispositivos relacionados) u otros componentes. El uso de tomas ocultas se describe además en la solicitud provisional de EE. UU. n.º 62/081.200, la solicitud provisional de EE. UU. n.º 62/133.205 y la solicitud de EE. UU. n.º 14/674.983.

En los ejemplos de la figura 50A (un diseño físico de ejemplo) y la figura 50B (un esquema eléctrico de ejemplo), cada uno de los módulos solares ilustrados 200 comprende seis superceldas 100 conectadas eléctricamente en serie para proporcionar un alto voltaje de CC. Cada supercelda está segmentada eléctricamente en varios grupos de celdas solares mediante tomas ocultas 4400, con cada grupo de celdas solares conectado eléctricamente en paralelo con un diodo de derivación 4410 diferente. En estos ejemplos, los diodos de derivación están dispuestos dentro de la estructura laminada de módulo solar, es decir, con las celdas solares en un encapsulante entre una lámina transparente de superficie frontal y una lámina de refuerzo. De forma alternativa, los diodos de derivación se pueden disponer en una caja de conexiones localizada en una superficie trasera o borde del módulo solar, e interconectados a las tomas ocultas mediante tramos de conductores.

En los ejemplos de la figura 51A (diseño físico) y la figura 51B (esquema eléctrico correspondiente), el módulo solar 200 ilustrado también comprende seis superceldas 100 conectadas eléctricamente en serie para proporcionar un alto voltaje de CC. En este ejemplo, el módulo solar está segmentado eléctricamente en tres pares de superceldas conectadas en serie, con cada par de superceldas conectado eléctricamente en paralelo con un diodo de derivación diferente. En este ejemplo, los diodos de derivación están dispuestos dentro de una caja de conexiones 4500 localizada en una superficie posterior del módulo solar. En su lugar, los diodos de derivación se podrían localizar en la estructura laminada de módulo solar o en una caja de conexiones montada en un borde.

En los ejemplos de las figuras 50A-51B, durante el funcionamiento normal del módulo solar, cada celda solar tiene polarización directa y, por lo tanto, todos los diodos de derivación tienen polarización inversa y no son conductores. Sin embargo, si una o más celdas solares de un grupo tienen polarización inversa a un voltaje suficientemente alto, el diodo de derivación correspondiente a ese grupo se encenderá y el flujo de corriente a través del módulo eludirá las celdas solares con polarización inversa. Esto evita la formación de puntos críticos peligrosos en las celdas solares en sombra o con mal funcionamiento.

De forma alternativa, la funcionalidad del diodo de derivación se puede lograr dentro de los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo, por ejemplo, un microinversor, dispuestos sobre o cerca del módulo solar. (Los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo y su uso también se pueden denominar en el presente documento dispositivos o sistemas de gestión de potencia a nivel de módulo y gestión de potencia a nivel de módulo). Dichos componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo, opcionalmente integrados con el módulo solar, pueden optimizar la potencia de grupos de superceldas, de cada supercelda o de cada segmento de supercelda individual en superceldas segmentadas eléctricamente (por ejemplo, haciendo funcionar el grupo de superceldas, una supercelda o un segmento de supercelda en su punto de máxima potencia), posibilitando de este modo una optimización de potencia discreta dentro del módulo. Los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo pueden eliminar la necesidad de cualquier diodo de derivación dentro del módulo, ya que los componentes electrónicos de potencia pueden determinar cuándo eludir todo el módulo, un grupo específico de superceldas, una o más superceldas individuales específicas y/o uno o más segmentos de supercelda específicos.

Esto se puede lograr, por ejemplo, integrando la inteligencia de voltaje a nivel de módulo. Supervisando la salida de voltaje de un circuito de celda solar (por ejemplo, una o más superceldas o segmentos de supercelda) en el módulo solar, un dispositivo de gestión de potencia de "conmutador inteligente" puede determinar si ese circuito incluye celdas solares en polarización inversa. Si se detecta una celda solar con polarización inversa, el dispositivo de gestión de potencia puede desconectar el circuito correspondiente del sistema eléctrico usando, por ejemplo, un conmutador de

relé u otro componente. Por ejemplo, si el voltaje de un circuito de celda solar supervisado cae por debajo de un umbral predeterminado, entonces el dispositivo de gestión de potencia apagará (abrirá el circuito) ese circuito. El umbral predeterminado puede ser, por ejemplo, un determinado porcentaje o magnitud (por ejemplo, un 20 % o 10 V) en comparación con el funcionamiento normal del circuito. La implementación de dicha inteligencia de voltaje se puede incorporar en productos de componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo existentes (por ejemplo, de Enphase Energy Inc., Solaredge Technologies, Inc., Tigo Energy, Inc.) o a través de un diseño de circuito personalizado.

La figura 52A (diseño físico) y la figura 52B (esquema eléctrico correspondiente) muestran una arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo de un módulo solar de alto voltaje que comprende superceldas solapadas. En este ejemplo, un módulo solar rectangular 200 comprende seis superceldas rectangulares solapadas 100 dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Las seis superceldas están conectadas eléctricamente en serie para proporcionar un alto voltaje de CC. Los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo 4600 pueden realizar detección de voltaje, gestión de potencia y/o conversión de CC/CA para todo el módulo.

La figura 53A (diseño físico) y la figura 53B (esquema eléctrico correspondiente) muestran otra arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo de un módulo solar de alto voltaje que comprende superceldas solapadas. En este ejemplo, un módulo solar rectangular 200 comprende seis superceldas rectangulares solapadas 100 dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Las seis superceldas están agrupadas eléctricamente en tres pares de superceldas conectadas en serie. Cada par de superceldas está conectado individualmente a los componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo 4600, que pueden realizar detección de voltaje y optimización de potencia en los pares individuales de superceldas, conectar dos o más de las mismas en serie para proporcionar un alto voltaje de CC y/o realizar la conversión de CC/CA.

La figura 54A (diseño físico) y la figura 54B (esquema eléctrico correspondiente) muestran otra arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo de un módulo solar de alto voltaje que comprende superceldas solapadas. En este ejemplo, un módulo solar rectangular 200 comprende seis superceldas rectangulares solapadas 100 dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Cada supercelda está conectada individualmente con componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo 4600, que pueden realizar detección de voltaje y optimización de potencia en cada supercelda, conectar dos o más de las mismas en serie para proporcionar un alto voltaje de CC y/o realizar la conversión de CC/CA.

La figura 55A (diseño físico) y la figura 55B (esquema eléctrico correspondiente) muestran otra arquitectura de ejemplo para la gestión de potencia a nivel de módulo de un módulo solar de alto voltaje que comprende superceldas solapadas. En este ejemplo, un módulo solar rectangular 200 comprende seis superceldas rectangulares solapadas 100 dispuestas en seis filas que se extienden a lo largo de los lados largos del módulo solar. Cada supercelda está segmentada eléctricamente en dos o más grupos de celdas solares mediante tomas ocultas 4400. Cada grupo resultante de celdas solares está conectado individualmente con componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo 4600, que pueden realizar detección de voltaje y optimización de potencia en cada grupo de celdas solares, conectar una pluralidad de los grupos en serie para proporcionar un alto voltaje de CC y/o realizar la conversión de CC/CA.

En algunas variaciones, dos o más módulos de celdas solares solapadas de CC de alto voltaje, como se describe en el presente documento, se conectan eléctricamente en serie para proporcionar una salida de CC de alto voltaje, que se convierte en CA mediante un inversor. El inversor puede ser un microinversor integrado con uno de los módulos solares, por ejemplo. En dichos casos, el microinversor puede ser, opcionalmente, un componente de los componentes electrónicos de gestión de potencia a nivel de módulo que también realiza funciones adicionales de detección y conexión como se describe anteriormente. De forma alternativa, el inversor puede ser un inversor de "cadena" central, como se analiza además a continuación.

Como se muestra en la figura 56, cuando se encadenan superceldas en serie en un módulo solar, las filas contiguas de superceldas pueden estar ligeramente desplazadas a lo largo de sus ejes largos de forma escalonada. Este escalonamiento permite que los extremos contiguos de las filas de superceldas se conecten eléctricamente en serie mediante un interconector 4700 unido a la parte superior de una supercelda y a la parte inferior de la otra, al tiempo que se ahorra área de módulo (espacio/longitud) así como se agiliza la fabricación. Las filas contiguas de superceldas pueden estar desplazadas 5 milímetros aproximadamente, por ejemplo.

La expansión térmica diferencial entre interconectores eléctricos 4700 y celdas solares de silicio y la tensión resultante en la celda solar y el interconector pueden dar lugar a fisuras y otros modos de fallo que pueden degradar el rendimiento del módulo solar. En consecuencia, es deseable que el interconector sea flexible y esté configurado para acomodar

- dicha expansión diferencial sin que aparezca una tensión significativa. El interconector puede proporcionar alivio de tensión y expansión térmica, por ejemplo, al estar formado a partir de materiales altamente dúctiles (por ejemplo, cobre blando, láminas de cobre delgadas), al estar formado a partir de materiales de bajo coeficiente de expansión térmica (por ejemplo, Kovar, Invar u otras aleaciones de hierro-níquel de baja expansión térmica) o a partir de materiales que tienen un coeficiente de expansión térmica aproximadamente igual al del silicio, que incorporan rasgos característicos de expansión geométrica dentro de plano, tales como hendiduras, ranuras, orificios o estructuras reticulares que acomodan la expansión térmica diferencial entre el interconector y la celda solar de silicio y/o que emplean rasgos característicos geométricos fuera de plano, tales como torceduras, desniveles u ondulaciones que acomodan dicha expansión térmica diferencial. Las porciones conductoras de los interconectores pueden tener un grosor, por ejemplo, inferior a 100 micrómetros aproximadamente, inferior a 50 micrómetros aproximadamente, inferior a 30 micrómetros aproximadamente o inferior a 25 micrómetros aproximadamente para incrementar la flexibilidad de los interconectores. (La corriente en general baja en estos módulos solares posibilita el uso de bandas conductoras delgadas y flexibles sin una pérdida de potencia excesiva como resultado de la resistencia eléctrica de los interconectores delgados).
- En algunas variaciones, las uniones conductoras entre una supercelda y un interconector eléctrico flexible obligan al interconector eléctrico flexible a acomodar una discrepancia en la expansión térmica entre la supercelda y el interconector eléctrico flexible para un intervalo de temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente sin dañar el módulo solar.
- La figura 7A (analizada anteriormente) muestra varias configuraciones de interconectores de ejemplo, designadas por los números de referencia 400A-400T, que emplean rasgos característicos geométricos de alivio de tensión dentro de plano, y las figuras 7B-1 y 7B-2 (también analizadas anteriormente) muestran configuraciones de interconectores de ejemplo, designadas por los números de referencia 400U y 3705, que emplean rasgos característicos geométricos de alivio de tensión fuera de plano. Una cualquiera de o cualquier combinación de estas configuraciones de interconectores que emplean rasgos característicos de alivio de tensión puede ser adecuada para interconectar eléctricamente superceldas en serie para proporcionar un alto voltaje de CC, como se describe en el presente documento.
- El análisis con respecto a las figuras 51A-55B se centró en la gestión de potencia a nivel de módulo, con una posible conversión de CC/CA de un alto voltaje de módulo de CC mediante componentes electrónicos de potencia a nivel de módulo para proporcionar una salida de CA desde el módulo. Como se indica anteriormente, la conversión de CC/CA de altos voltajes de CC de los módulos de celdas solares solapadas como se describe en el presente documento se puede realizar en su lugar mediante un inversor de cadena central. Por ejemplo, la figura 57A ilustra esquemáticamente un sistema fotovoltaico 4800 que comprende una pluralidad de módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC 200 conectados eléctricamente en paralelo entre sí a un inversor de cadena 4815 por medio de un bus negativo de alto voltaje de CC 4820 y un bus positivo de alto voltaje de CC 4810. Típicamente, cada módulo solar 200 comprende una pluralidad de superceldas solapadas conectadas eléctricamente en serie con interconectores eléctricos para proporcionar un alto voltaje de CC, como se describe anteriormente. Los módulos solares 200 pueden comprender opcionalmente diodos de derivación dispuestos como se describe anteriormente, por ejemplo. La figura 57B muestra una implantación de ejemplo del sistema fotovoltaico 4800 en un tejado.
- En algunas variaciones del sistema fotovoltaico 4800, dos o más cadenas cortas conectadas en serie de módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC se pueden conectar eléctricamente en paralelo con un inversor de cadena. En referencia de nuevo a la figura 57A, por ejemplo, cada módulo solar 200 se puede reemplazar con una cadena conectada en serie de dos o más módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC 200. Esto se podría hacer, por ejemplo, para maximizar el voltaje proporcionado al inversor al tiempo que se cumple con la normativa reglamentaria.
- Los módulos solares convencionales producen típicamente 8 amperios I_{cc} (corriente de cortocircuito) aproximadamente, 50 V_{ca} (voltaje de circuito abierto) aproximadamente y 35 V_{mp} (voltaje de punto de máxima potencia) aproximadamente. Como se analiza anteriormente, los módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC como se describe en el presente documento que comprenden M veces el número convencional de celdas solares, teniendo cada una de las celdas solares un área de aproximadamente $1/M$ del área de una celda solar convencional, producen un voltaje aproximadamente M veces mayor y $1/M$ de la corriente de un módulo solar convencional. Como se indica anteriormente, M puede ser cualquier número entero adecuado, típicamente es ≤ 20 , pero puede ser mayor que 20. M puede ser, por ejemplo, 3, 4, 5, 6 o 12.
- Si $M = 6$, V_{ca} para los módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC puede ser, por ejemplo, de 300 V aproximadamente. La conexión de dos de dichos módulos en serie proporcionaría una CC de 600 V aproximadamente al bus, cumpliendo con el máximo establecido por las normas residenciales de EE. UU. Si $M = 4$, el V_{ca} para los módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC puede ser, por ejemplo, de 200 V aproximadamente.

Conectar tres de dichos módulos en serie proporcionaría una CC de 600 V aproximadamente al bus. Si $M = 12$, el V_{ca} para los módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC puede ser, por ejemplo, de 600 V aproximadamente. También se podría configurar el sistema para que tenga voltajes de bus inferiores a 600 V. En dichas variaciones, los módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC pueden estar, por ejemplo, conectados en pares o tríadas o en cualquier otra combinación adecuada en una caja combinadora para proporcionar un voltaje óptimo al inversor.

Un desafío que surge de la configuración en paralelo de módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC descrita anteriormente es que si un módulo solar tiene un cortocircuito, los otros módulos solares podrían potencialmente descargar su potencia en el módulo en cortocircuito (es decir, conducir corriente a través de y disipar potencia en el módulo en cortocircuito) y crear una situación peligrosa. Este problema se puede evitar, por ejemplo, mediante el uso de diodos de bloqueo dispuestos para evitar que otros módulos conduzcan corriente a través de un módulo en cortocircuito, el uso de fusibles limitadores de corriente o el uso de fusibles limitadores de corriente en combinación con diodos de bloqueo. La figura 57B indica esquemáticamente el uso de dos fusibles limitadores de corriente 4830 en los terminales positivo y negativo de un módulo de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC 200.

La disposición de protección de diodos de bloqueo y/o fusibles puede depender de si el inversor comprende o no un transformador. Los sistemas que usan un inversor que comprende un transformador típicamente conectan a tierra el conductor negativo. Los sistemas que usan un inversor sin transformador típicamente no conectan a tierra el conductor negativo. En lo que respecta a un inversor sin transformador, puede ser preferente tener un fusible limitador de corriente en línea con el terminal positivo del módulo solar y otro fusible limitador de corriente en línea con el terminal negativo.

Se pueden colocar diodos de bloqueo y/o fusibles limitadores de corriente, por ejemplo, con cada módulo en una caja de conexiones o en el laminado del módulo. Cajas de conexiones, diodos de bloqueo (por ejemplo, diodos de bloqueo en línea) y fusibles (por ejemplo, fusibles en línea) adecuados pueden incluir los disponibles a través de Shoals Technology Group.

La figura 58A muestra un módulo de celdas solares solapadas de CC de alto voltaje de ejemplo que comprende una caja de conexiones 4840 en la que un diodo de bloqueo 4850 está en línea con el terminal positivo del módulo solar. La caja de conexiones no incluye un fusible limitador de corriente. Esta configuración se puede usar preferentemente en combinación con uno o más fusibles limitadores de corriente localizados en otro lugar (por ejemplo, en una caja combinadora) en línea con los terminales positivo y/o negativo del módulo solar (por ejemplo, véase la figura 58D a continuación). La figura 58B muestra un módulo de celdas solares solapadas de CC de alto voltaje de ejemplo que comprende una caja de conexiones 4840 en la que un diodo de bloqueo está en línea con el terminal positivo del módulo solar y un fusible limitador de corriente 4830 está en línea con el terminal negativo. La figura 58C muestra un módulo de celdas solares solapadas de CC de alto voltaje de ejemplo que comprende una caja de conexiones 4840 en la que un fusible limitador de corriente 4830 está en línea con el terminal positivo del módulo solar y otro fusible limitador de corriente 4830 está en línea con el terminal negativo. La figura 58D muestra un módulo de celdas solares solapadas de CC de alto voltaje de ejemplo que comprende una caja de conexiones 4840 configurada como en la figura 58A y fusibles localizados fuera de la caja de conexiones en línea con los terminales positivo y negativo del módulo solar.

En referencia ahora a las figuras 59A-59B, como una alternativa a las configuraciones descritas anteriormente, los diodos de bloqueo y/o los fusibles limitadores de corriente para todos los módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC se pueden colocar juntos en una caja combinadora 4860. En estas variaciones, uno o más conductores individuales discurren por separado desde cada módulo hasta la caja combinadora. Como se muestra en la figura 59A, en una opción se comparte un único conductor de una polaridad (por ejemplo negativa, como se ilustra) entre todos los módulos. En otra opción (figura 59B) ambas polaridades tienen conductores individuales para cada módulo. Aunque las figuras 59A-59B muestran solo fusibles localizados en la caja combinadora 4860, cualquier combinación adecuada de fusibles y/o diodos de bloqueo puede estar localizada en la caja combinadora. Además, los componentes electrónicos que realizan otras funciones tales como, por ejemplo, supervisión, seguimiento del punto de máxima potencia y/o desconexión de módulos individuales o grupos de módulos, se puede implementar en la caja combinadora.

La operación de polarización inversa de un módulo solar se puede producir cuando una o más celdas solares del módulo solar están en sombra o generan de otro modo baja corriente y el módulo solar funciona en un punto de voltaje-corriente que conduce una mayor corriente a través de una celda solar de baja corriente que lo que la celda solar de baja corriente puede manejar. Una celda solar con polarización inversa se puede calentar y crear una situación peligrosa. Una disposición en paralelo de módulos de celdas solares solapadas de alto voltaje de CC, como se muestra en la figura 58A, por ejemplo, puede posibilitar que los módulos se protejan del funcionamiento de polarización inversa al establecer un voltaje operativo adecuado para el inversor. Esto se ilustra, por ejemplo, en las figuras 60A-60B.

La figura 60A muestra una curva 4870 de corriente frente a voltaje y una curva 4880 de potencia frente a voltaje para una cadena conectada en paralelo de aproximadamente diez módulos solares solapados de alto voltaje de CC. Estas curvas se calcularon para un modelo en el que ninguno de los módulos solares incluía una celda solar con polarización inversa. Debido a que los módulos solares están conectados eléctricamente en paralelo, todos tienen el mismo voltaje operativo y sus corrientes se suman. Típicamente, un inversor variará la carga en el circuito para explorar la curva de potencia-voltaje, identificará el punto máximo en esa curva y, a continuación, hará funcionar el circuito del módulo en ese punto para maximizar la potencia de salida.

Por el contrario, la figura 60B muestra una curva 4890 de corriente frente a voltaje y una curva 4900 de potencia frente a voltaje para el sistema de modelo de la figura 60A para un caso en el que algunos de los módulos solares del circuito incluyen una o más celdas solares con polarización inversa. Los módulos con polarización inversa se manifiestan en la curva de corriente-voltaje de ejemplo mediante la formación de una conformación de rodilla con una transición desde un funcionamiento de 10 amperios aproximadamente con voltajes que descienden hasta 210 voltios aproximadamente a un funcionamiento de 16 amperios aproximadamente con voltajes por debajo de 200 voltios aproximadamente. A voltajes por debajo de 210 voltios aproximadamente, los módulos en sombra incluyen celdas solares con polarización inversa. Los módulos con polarización inversa también se manifiestan en la curva de potencia-voltaje por la existencia de dos máximos: un máximo absoluto en 200 voltios aproximadamente y un máximo local en 240 voltios aproximadamente. El inversor se puede configurar para reconocer dichos signos de módulos solares con polarización inversa y hacer funcionar los módulos solares con un voltaje de punto absoluto o local de máxima potencia en el que ningún módulo tenga polarización inversa. En el ejemplo de la figura 60B, el inversor puede hacer funcionar los módulos en el punto local de máxima potencia para garantizar que ningún módulo tenga polarización inversa. Además, o de forma alternativa, se puede seleccionar un voltaje operativo mínimo para el inversor, por debajo del que es poco probable que algún módulo tenga polarización inversa. Ese voltaje operativo mínimo se puede ajustar en base a otros parámetros tales como la temperatura ambiente, la corriente operativa y la temperatura de módulo solar calculada o medida, así como otra información recibida desde fuentes externas, tal como la irradiancia, por ejemplo.

En algunos modos de realización, los propios módulos solares de alto voltaje de CC se pueden solapar con módulos solares contiguos dispuestos de manera parcialmente superpuesta y opcionalmente interconectados eléctricamente en sus regiones superpuestas. Dichas configuraciones solapadas se pueden usar opcionalmente en módulos solares de alto voltaje conectados eléctricamente en paralelo que proporcionan un alto voltaje de CC a un inversor de cadena, o en módulos solares de alto voltaje que comprenden cada uno un microinversor que convierte el alto voltaje de CC del módulo solar en una salida de módulo de CA. Un par de módulos solares de alto voltaje se pueden solapar como se acaba de describir y conectar eléctricamente en serie para proporcionar un voltaje de CC deseado, por ejemplo.

Con frecuencia, se requiere que los inversores de cadena convencionales tengan un intervalo bastante amplio de voltaje de entrada de potencial (o "intervalo dinámico") porque 1) deben ser compatibles con diferentes longitudes de cadena de módulos conectados en serie, 2) algunos módulos en una cadena pueden estar completa o parcialmente en sombra, y 3) los cambios en la temperatura ambiente y la radiación cambian el voltaje del módulo. En los sistemas que emplean una arquitectura en paralelo como se describe en el presente documento, la longitud de la cadena de módulos solares conectados en paralelo no afecta al voltaje. Además, para el caso en que algunos módulos estén parcialmente en sombra y otros no, se puede decidir hacer funcionar el sistema con el voltaje de los módulos que no están en sombra (por ejemplo, como se describe anteriormente). Por lo tanto, es posible que el intervalo de voltaje de entrada de un inversor en un sistema de arquitectura en paralelo solo tenga que acomodar el "intervalo dinámico" del factor n.º 3: cambios de temperatura y radiación. Debido a que esto supone menos de, por ejemplo, un 30 % aproximadamente del intervalo dinámico convencional requerido de los inversores, los inversores empleados con sistemas de arquitectura en paralelo como se describe en el presente documento pueden tener un intervalo más estrecho de MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia), por ejemplo de entre 250 voltios aproximadamente en condiciones estándar y 175 voltios aproximadamente a alta temperatura y baja radiación o, por ejemplo, entre 450 voltios aproximadamente en condiciones estándar y 350 voltios aproximadamente a alta temperatura y baja radiación (en este caso, el funcionamiento MPPT a 450 voltios puede corresponder a un V_{ca} por debajo de 600 voltios durante un funcionamiento a la temperatura más baja). Además, como se describe anteriormente, los inversores pueden recibir suficiente voltaje de CC para la conversión directa a CA sin una fase de refuerzo. En consecuencia, los inversores de cadena empleados con sistemas de arquitectura en paralelo como se describe en el presente documento pueden ser más simples, de menor coste y funcionar con mayor eficacia que los inversores de cadena empleados en sistemas convencionales.

Tanto para los microinversores como para los inversores de cadena empleados con los módulos de celdas solares solapadas de corriente continua de alto voltaje descritos en el presente documento, para eliminar un requisito de refuerzo de CC del inversor, puede ser preferente configurar el módulo solar (o una cadena corta de módulos solares conectados en serie) para proporcionar un voltaje operativo de CC (por ejemplo, punto de máxima potencia V_{mp}) por

encima del pico a pico de la CA. Por ejemplo, para una CA de 120 V, pico a pico es $\sqrt{2} \cdot 120 \text{ V} = 170 \text{ V}$. Por tanto, los módulos solares se pueden configurar para proporcionar un V_{mp} mínimo de 175 V aproximadamente, por ejemplo. El V_{mp} en condiciones estándar podría ser entonces de 212 V aproximadamente (suponiendo un coeficiente de temperatura de voltaje negativo de un 0,35 % y una temperatura operativa máxima de 75 °C), y el V_{mp} en la condición operativa de temperatura más baja (por ejemplo, -15 °C) sería entonces de 242 V aproximadamente y, por tanto, el Vca estaría por debajo de 300 V aproximadamente (dependiendo del factor de llenado del módulo). Para una CA de 120 V (o una CA de 240 V) de fase dividida, todos estos números se duplican, lo que es conveniente ya que una CC de 600 V es el máximo permitido en los EE. UU. en muchas aplicaciones residenciales. En lo que respecta a aplicaciones comerciales, que requieren y permiten mayores voltajes, estos números se pueden incrementar aún más.

Un módulo de celdas solares solapadas de alto voltaje, como se describe en el presente documento, se puede configurar para funcionar a $> 600 \text{ Vca}$ o $> 1000 \text{ Vca}$, en este caso el módulo puede comprender componentes electrónicos de potencia integrada que evitan que el voltaje externo proporcionado por el módulo exceda los requisitos del código. Una disposición de este tipo puede posibilitar que el V_{mp} operativo sea suficiente para 120 V de fase dividida (240 V, que requieren aproximadamente 350 V) sin un problema de Vca a bajas temperaturas que exceda los 600 V.

Cuando la conexión de un edificio a la red eléctrica se desconecta, por ejemplo, por los bomberos, los módulos solares (por ejemplo, en el tejado del edificio) que proporcionan electricidad al edificio todavía pueden generar potencia si el sol brilla. Esto plantea la preocupación de que dichos módulos solares puedan mantener el tejado "vivo" con un voltaje peligroso después de la desconexión del edificio de la red. Para solucionar este problema, los módulos de celdas solares solapadas de corriente continua de alto voltaje descritos en el presente documento pueden incluir opcionalmente un elemento de desconexión, por ejemplo, en una caja de conexiones del módulo o contiguo a la misma. El elemento de desconexión puede ser un elemento de desconexión físico o un elemento de desconexión de estado sólido, por ejemplo. El elemento de desconexión se puede configurar, por ejemplo, para que esté "normalmente apagado", de modo que cuando pierda una determinada señal (por ejemplo, del inversor) desconecte la salida de alto voltaje del módulo solar del circuito del tejado. La comunicación con el elemento de desconexión puede ser, por ejemplo, por cables de alto voltaje, a través de un cable separado o de forma inalámbrica.

Una ventaja significativa del solapamiento para módulos solares de alto voltaje es la propagación de calor entre las celdas solares en una supercelda solapada. Los solicitantes han descubierto que el calor se puede transportar fácilmente a lo largo de una supercelda de silicio a través de delgadas uniones eléctrica y térmicamente conductoras entre celdas solares de silicio superpuestas contiguas. El grosor de la unión eléctricamente conductora entre celdas solares superpuestas contiguas formadas por el material de unión eléctricamente conductor, medido de manera perpendicular a las superficies frontal y trasera de las celdas solares, puede ser, por ejemplo, inferior o igual a 200 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 150 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 125 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 100 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 90 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 80 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 70 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 60 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 50 micrómetros aproximadamente, o inferior o igual a 25 micrómetros aproximadamente. Una unión delgada de este tipo reduce la pérdida resistiva en la interconexión entre las celdas y también favorece el flujo de calor a lo largo de la supercelda desde cualquier punto crítico de la supercelda que pueda aparecer durante el funcionamiento. La conductividad térmica de la unión entre celdas solares puede ser, por ejemplo, \geq de 1,5 vatios/(metro K) aproximadamente. Además, la proporción de aspecto rectangular de las celdas solares empleadas típicamente en el presente documento proporciona regiones ampliadas de contacto térmico entre celdas solares contiguas.

Por el contrario, en los módulos solares convencionales que emplean interconectores de banda entre celdas solares contiguas, el calor generado en una celda solar no se propaga fácilmente a través de los interconectores de banda a otras celdas solares del módulo. Eso hace que los módulos solares convencionales sean más propensos a la aparición de puntos críticos que los módulos solares descritos en el presente documento.

Además, la corriente a través de una supercelda en los módulos solares descritos en el presente documento es típicamente menor que a través de una cadena de celdas solares convencionales, porque las superceldas descritas en el presente documento están formadas típicamente por celdas solares rectangulares solapadas, de las que cada una tiene un área activa menor que (por ejemplo, 1/6) la de una celda solar convencional.

Como consecuencia, en los módulos solares divulgados en el presente documento, se disipa menos calor en una celda solar con polarización inversa en el voltaje disruptivo, y el calor se puede propagar fácilmente a través de la supercelda y el módulo solar sin crear un punto crítico peligroso.

Varios rasgos característicos adicionales y opcionales pueden hacer que los módulos solares de alto voltaje que emplean superceldas como se describe en el presente documento sean incluso más tolerantes al calor disipado en

una celda solar con polarización inversa. Por ejemplo, las superceldas se pueden encapsular en un polímero de olefina termoplástica (TPO). Los encapsulantes de TPO son más estables, desde un punto de vista fototérmico, que los encapsulantes de etileno-acetato de vinilo (EVA) estándar. El compuesto EVA se oscurece con la temperatura y la luz ultravioleta y dará lugar a problemas de puntos críticos creados por las celdas limitadoras de corriente. Además, los módulos solares pueden tener una estructura de vidrio-vidrio en la que las superceldas encapsuladas se intercalan entre una lámina frontal de vidrio y una lámina posterior de vidrio. Una estructura de vidrio-vidrio de este tipo posibilita que el módulo solar funcione de manera segura a temperaturas superiores a las toleradas por una lámina posterior de polímero convencional. Todavía más, las cajas de conexiones, si están presentes, se pueden montar en uno o más bordes de un módulo solar, en lugar de detrás del módulo solar donde una caja de conexiones añadiría una capa adicional de aislamiento térmico a las celdas solares del módulo por encima del mismo.

Por lo tanto, los solicitantes han reconocido que los módulos solares de alto voltaje formados a partir de superceldas como se describe en el presente documento pueden emplear muchos menos diodos de derivación que en los módulos solares convencionales, porque el flujo de calor a través de las superceldas puede permitir que un módulo funcione sin riesgo significativo con una o más celdas solares de polarización inversa. Por ejemplo, en algunas variaciones, los módulos solares de alto voltaje que se describen en el presente documento emplean menos de un diodo de derivación por cada 25 celdas solares, menos de un diodo de derivación por cada 30 celdas solares, menos de un diodo de derivación por cada 50 celdas solares, menos de un diodo de derivación por cada 75 celdas solares, menos de un diodo de derivación por cada 100 celdas solares, solo un único diodo de derivación o ningún diodo de derivación.

En referencia ahora a las figuras 61A-61C, se proporcionan módulos solares de alto voltaje de ejemplo que utilizan diodos de derivación. Cuando una porción de un módulo solar está en sombra, el daño al módulo se puede evitar o reducir a través del uso de diodos de derivación. En el módulo solar 4700 de ejemplo mostrado en la figura 61A, 10 superceldas 100 están conectadas en serie. Como se ilustra, las 10 superceldas están dispuestas en filas paralelas. Cada supercelda contiene 40 celdas solares conectadas en serie 10, donde cada una de las 40 celdas solares está hecha de aproximadamente 1/6 de un cuadrado o pseudocuadrado, como se describe en el presente documento. Durante un funcionamiento normal sin sombra, la corriente entra desde la caja de conexiones 4716 a través de cada una de las superceldas 100 conectadas en serie a través de conectores 4715 y, a continuación, la corriente sale a través de la caja de conexiones 4717. Opcionalmente, se puede usar una única caja de conexiones en lugar de cajas de conexiones separadas 4716 y 4717, de modo que la corriente vuelva a una caja de conexiones. El ejemplo mostrado en la figura 61A muestra una implementación con aproximadamente un diodo de derivación por supercelda. Como se muestra, un único diodo de derivación está conectado eléctricamente entre un par de superceldas vecinas en un punto aproximadamente a medio camino a lo largo de las superceldas (por ejemplo, un único diodo de derivación 4901A está conectado eléctricamente entre la vigésimo segunda celda solar de la primera supercelda y su celda solar vecina en la segunda supercelda, un segundo diodo de derivación 4901B está conectado eléctricamente entre la segunda supercelda y la tercera supercelda, etc.). Las primera y última cadenas de celdas tienen solo aproximadamente la mitad del número de celdas solares en una supercelda por diodo de derivación. En el ejemplo mostrado en la figura 61A, las primera y última cadenas de celdas incluyen solo 22 celdas por diodo de derivación. El número total de diodos de derivación (11) para la variación del módulo solar de alto voltaje ilustrado en la figura 61A es igual al número de superceldas más 1 diodo de derivación adicional.

Cada diodo de derivación se puede incorporar en un circuito flexible, por ejemplo. En referencia ahora a la figura 61B, se muestra una vista ampliada de una región conectada por diodo de derivación de dos superceldas vecinas. La vista de la figura 61B es desde el lado en que no da el sol. Como se muestra, dos celdas solares 10 en superceldas vecinas están conectadas eléctricamente usando un circuito flexible 4718 que comprende un diodo de derivación 4720. El circuito flexible 4718 y el diodo de derivación 4720 están conectados eléctricamente a las celdas solares 10 usando placas de contacto 4719 localizadas en las superficies traseras de las celdas solares. (Véase también a continuación un análisis adicional acerca del uso de placas de contacto oculto para proporcionar tomas ocultas a diodos de derivación). Se pueden emplear esquemas adicionales de conexión eléctrica de diodo de derivación para reducir el número de celdas solares por diodo de derivación. Un ejemplo se ilustra en la figura 61C. Como se muestra, un diodo de derivación está conectado eléctricamente entre cada par de superceldas vecinas a medio camino aproximadamente a lo largo de las superceldas. El diodo de derivación 4901A está conectado eléctricamente entre celdas solares vecinas en las primera y segunda superceldas, el diodo de derivación 4901B está conectado eléctricamente entre celdas solares vecinas en las segunda y tercera superceldas, el diodo de derivación 4901C está conectado eléctricamente entre celdas solares vecinas en las tercera y cuarta superceldas, etc. Se puede incluir un segundo conjunto de diodos de derivación para reducir el número de celdas solares que se eludirán en caso de sombra parcial. Por ejemplo, un diodo de derivación 4902A está conectado eléctricamente entre las primera y segunda superceldas en un punto intermedio entre los diodos de derivación 4901A y 4901B, un diodo de derivación 4902B está conectado eléctricamente entre las segunda y tercera superceldas en un punto intermedio entre los diodos de derivación 4901B y 4901C, etc., reduciendo el número de celdas por diodo de derivación. Opcionalmente, se puede conectar eléctricamente aún otro conjunto de diodos de derivación para reducir además el número de celdas solares que se van a eludir en caso de

sombra parcial. Un diodo de derivación 4903A está conectado eléctricamente entre las primera y segunda superceldas en un punto intermedio entre los diodos de derivación 4902A y 4901B, un diodo de derivación 4903B está conectado eléctricamente entre una segunda y tercera superceldas en un punto intermedio entre los diodos de derivación 4902B y 4901C, reduciendo aún más el número de celdas por diodo de derivación. Esta configuración da como resultado una configuración anidada de diodos de derivación, lo que permite eludir pequeños grupos de celdas durante un ensombrecimiento parcial. Diodos adicionales se pueden conectar eléctricamente de esta manera hasta que se logre un número deseado de celdas solares por diodo de derivación, por ejemplo, 8 aproximadamente, 6 aproximadamente, 4 aproximadamente o 2 aproximadamente por diodo de derivación. En algunos módulos, se desean 4 celdas solares aproximadamente por diodo de derivación. Si se desea, uno o más de los diodos de derivación ilustrados en la figura 61C se pueden incorporar en un interconector flexible oculto como se ilustra en la figura 61B.

Esta memoria descriptiva divulga herramientas de escisión de celdas solares y procedimientos de escisión de celdas solares que se pueden usar, por ejemplo, para separar celdas solares cuadradas o pseudocuadradas de tamaño convencional en una pluralidad de celdas solares rectangulares o sustancialmente rectangulares estrechas. Estas herramientas y procedimientos de escisión aplican vacío entre las superficies inferiores de las celdas solares de tamaño convencional y una superficie de soporte curva para flexionar las celdas solares de tamaño convencional contra la superficie de soporte curva y, de este modo, escinden las celdas solares a lo largo de las líneas de trazo previamente preparadas. Una ventaja de estas herramientas de escisión y procedimientos de escisión es que no requieren contacto físico con las superficies superiores de las celdas solares. En consecuencia, estas herramientas y procedimientos de escisión se pueden emplear para escindir celdas solares que comprenden materiales blandos y/o no curados en sus superficies superiores que se podrían dañar por contacto físico. Además, en algunas variaciones, estas herramientas de escisión y procedimientos de escisión pueden requerir contacto solo con porciones de las superficies inferiores de las celdas solares. En dichas variaciones, estas herramientas y procedimientos de escisión se pueden emplear para escindir celdas solares que comprenden materiales blandos y/o no curados en porciones de sus superficies inferiores que no estén en contacto con la herramienta de escisión.

Por ejemplo, un procedimiento de fabricación de celdas solares que utiliza las herramientas y procedimientos de escisión divulgados en el presente documento comprende trazar con láser una o más líneas de trazo en cada celda de una o más celdas solares de silicio de tamaño convencional para definir una pluralidad de regiones rectangulares en las celdas solares de silicio, aplicar un material de unión adhesivo eléctricamente conductor a porciones de las superficies superiores de las una o más celdas solares de silicio, y aplicar vacío entre las superficies inferiores de las una o más celdas solares de silicio y una superficie de soporte curva para flexionar las una o más celdas solares de silicio contra la superficie de soporte curva y de este modo escindir las una o más celdas solares de silicio a lo largo de las líneas de trazo para proporcionar una pluralidad de celdas solares de silicio rectangulares, de las que cada una comprende una porción del material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesta en su superficie frontal contigua a un lado largo. El material de unión adhesivo conductor se puede aplicar a las celdas solares de silicio de tamaño convencional antes o bien después de que las celdas solares se tracen con láser.

La pluralidad resultante de celdas solares de silicio rectangulares se puede disponer en línea con lados largos de celdas solares de silicio rectangulares contiguas superpuestas de manera solapada con una porción del material de unión adhesivo eléctricamente conductor dispuesta en medio. A continuación, el material de unión eléctricamente conductor se puede curar para unir de este modo entre sí celdas solares de silicio rectangulares superpuestas contiguas y conectarlas eléctricamente en serie. Este proceso forma una "supercelda" solapada como se describe en las solicitudes de patente enumeradas anteriormente en la sección "Referencia cruzada a solicitudes relacionadas".

Volviendo ahora a las figuras para entender mejor las herramientas y los procedimientos de escisión divulgados en el presente documento, la figura 20A ilustra esquemáticamente una vista lateral de un aparato 1050 de ejemplo que se puede usar para escindir celdas solares trazadas. En este aparato, una oblea de celda solar trazada de tamaño convencional 45 se transporta por una cinta móvil perforada 1060 sobre una porción curva de un colector de vacío 1070. A medida que la oblea de celda solar 45 pasa sobre la porción curva del colector de vacío, un vacío aplicado a través de las perforaciones en la cinta tira de la superficie inferior de la oblea de celda solar 45 contra el colector de vacío y, de este modo, flexiona la celda solar. El radio de curvatura R de la porción curva del colector de vacío se puede seleccionar de modo que flexionar la oblea de celda solar flexible 45 de esta manera escinda la celda solar a lo largo de las líneas de trazo para formar celdas solares rectangulares 10. Las celdas solares rectangulares 10 se pueden usar, por ejemplo, en una supercelda, como se ilustra en las figuras 1 y 2. La oblea de celda solar 45 se puede escindir mediante este procedimiento sin hacer contacto con la superficie superior de la oblea de celda solar 45 a la que se ha aplicado el material de unión adhesivo conductor.

La escisión se puede iniciar preferentemente en un extremo de una línea de trazo (es decir, en un borde de la celda solar 45), por ejemplo, disponiendo que las líneas de trazo estén orientadas en un ángulo θ con respecto al colector de vacío de modo que para cada línea de trazo, un extremo llegue a la porción curva del colector de vacío antes que

5 el otro extremo. Como se muestra en la figura 20B, por ejemplo, las celdas solares se pueden orientar con sus líneas de trazo en ángulo con respecto a la dirección de desplazamiento de la cinta y a una porción de escisión curva del colector orientada de manera perpendicular a la dirección de desplazamiento de la cinta. Como otro ejemplo, la figura 20C muestra las celdas orientadas con sus líneas de trazo perpendiculares a la dirección de desplazamiento de la cinta y con la porción de escisión curva del colector orientada en un ángulo con respecto a la dirección de desplazamiento de la cinta.

10 La herramienta de escisión 1050 puede utilizar, por ejemplo, una única cinta móvil perforada 1060 que tiene una anchura perpendicular a su dirección de desplazamiento aproximadamente igual al ancho de la oblea de celda solar 45. De forma alternativa, la herramienta 1050 puede comprender dos, tres, cuatro o más cintas móviles perforadas 1060 que pueden estar dispuestas lado a lado en paralelo y, opcionalmente, espaciadas entre sí, por ejemplo. La herramienta de escisión 1050 puede utilizar un único colector de vacío que, por ejemplo, puede tener una anchura perpendicular a la dirección de desplazamiento de las celdas solares aproximadamente igual a la anchura de una oblea de celda solar 45. Un colector de vacío de este tipo se puede emplear, por ejemplo, con una única cinta móvil 1060 perforada en toda su anchura o con dos o más de dichas cintas dispuestas lado a lado en paralelo y, opcionalmente, espaciadas entre sí, por ejemplo.

20 La herramienta de escisión 1050 puede comprender dos o más colectores de vacío curvos dispuestos lado a lado en paralelo y espaciados entre sí, teniendo cada colector de vacío la misma curvatura. Una disposición de este tipo se puede emplear, por ejemplo, con una única cinta móvil 1060 perforada en toda su anchura o con dos o más de dichas cintas dispuestas lado a lado en paralelo y, opcionalmente, espaciadas entre sí. Por ejemplo, la herramienta puede comprender una cinta móvil perforada 1060 para cada colector de vacío. En esta última disposición, los colectores de vacío y sus correspondientes cintas móviles perforadas se pueden disponer para hacer contacto con la parte inferior de la oblea de celda solar solo a lo largo de dos tiras estrechas definidas por las anchuras de las cintas. En dichos casos, la celda solar puede comprender materiales blandos en la región de la superficie inferior de la oblea de celda solar que no hacen contacto con las cintas sin riesgo de daño de los materiales blandos durante el proceso de escisión.

30 En la herramienta de escisión 1050 se puede usar cualquier disposición adecuada de cintas móviles perforadas y de colectores de vacío.

35 En algunas variaciones, las obleas de celda solar trazadas 45 comprenden material de unión adhesivo conductor no curado y/u otros materiales blandos en sus superficies superior y/o inferior antes de su escisión usando la herramienta de escisión 1050. El trazado de la oblea de celda solar y la aplicación del material blando se puede haber producido en cualquier orden.

40 La figura 62A ilustra esquemáticamente una vista lateral, y la figura 62B una vista superior, de otra herramienta de escisión 5210 de ejemplo similar a la herramienta de escisión 1050 descrita anteriormente. Durante el uso de la herramienta de escisión 5210, una oblea de celda solar trazada de tamaño convencional 45 se coloca sobre un par de cintas perforadas paralelas y separadas 5230 que se mueven a velocidad constante sobre un par de colectores de vacío 5235 paralelos y espaciados correspondientes. Los colectores de vacío 5235 tienen típicamente la misma curvatura. A medida que la oblea se desplaza con las cintas sobre los colectores de vacío a través de una región de escisión 5235C, la oblea se dobla alrededor de un radio de escisión definido por las superficies de soporte curvas de los colectores de vacío por la fuerza del vacío que tira de la parte inferior de la oblea. A medida que la oblea se dobla alrededor del radio de escisión, las líneas de trazo se convierten en fisuras que separan la oblea en celdas solares rectangulares individuales. Como se describe además a continuación, la curvatura de los colectores de vacío está dispuesta de modo que celdas solares rectangulares escindidas contiguas no sean coplanares y los bordes de celdas solares rectangulares escindidas contiguas en consecuencia no hagan contacto entre sí después de producirse el proceso de escisión. Las celdas solares rectangulares escindidas se pueden descargar de forma continua de las cintas perforadas mediante cualquier procedimiento adecuado, de los que se describen varios ejemplos a continuación. Típicamente, el procedimiento de descarga separa aún más entre sí celdas solares escindidas contiguas para evitar el contacto entre las mismas si posteriormente se encuentran coplanares.

55 Todavía en referencia a las figuras 62A-62B, cada colector de vacío puede comprender, por ejemplo, una región plana 5235F que proporciona un alto, un bajo o ningún vacío; una región de transición curva opcional 5235T que proporciona un bajo o un alto vacío o que pasa de un bajo vacío a un alto vacío a lo largo de su longitud; una región de escisión 5235C que proporciona un alto vacío; y una región posterior a la escisión 5235PC de radio más cerrado que proporciona un bajo vacío. Las cintas 5230 transportan obleas 45 desde la región plana 5235F hacia y a través de la región de transición 5235T y, a continuación, hacia la región de escisión 5235C, donde las obleas se escinden, y, a continuación, transportan las celdas solares escindidas resultantes 10 fuera de la región de escisión 5235C y hacia la región posterior a la escisión 5235PC.

- 5 La región plana 5235F funciona típicamente con un bajo vacío, suficiente para que las obleas 45 queden retenidas en las cintas y colectores de vacío. Aquí se puede aplicar poco (o ningún) vacío para reducir la fricción y, por tanto, la tensión requerida de la cinta, y porque es más fácil retener las obleas 45 en una superficie plana que en superficies curvas. El vacío en la región plana 5235F puede ser, por ejemplo, de 0,03 bar (1 pulgada de mercurio) aproximadamente a 0,2 bar (6 pulgadas de mercurio) aproximadamente.
- 10 La región de transición 5235T proporciona una curvatura de transición desde la región plana 5235F hasta la región de escisión 5235C. El radio de curvatura, o radios de curvatura, en la región de transición 5235T es/son mayor(es) que el radio de curvatura en la región de escisión 5235C. La curva en la región de transición 5235T puede ser una porción de una elipse, por ejemplo, pero se puede usar cualquier curva adecuada. Hacer que las obleas 45 se acerquen a la región de escisión 5235C a través de la región de transición 5235T con un cambio de curvatura más superficial, en lugar de pasar directamente de una orientación plana en la región 5235F al radio de escisión en la región de escisión 5235C, ayuda a garantizar que los bordes de las obleas 45 no se levanten y rompan el vacío, lo que podría dificultar la retención de las obleas en el radio de escisión en la región de escisión 5235C. El vacío en la región de transición 5235T puede ser, por ejemplo, el mismo que en la región de escisión 5235C, intermedio entre el de la región 5235F y 5235C, o pasar a lo largo de la longitud de la región 5235T entre el de la región 5235F y el de la región 5235C. El vacío en la región de transición 5235T puede ser, por ejemplo, de 0,07 bar (2 pulgadas de mercurio) aproximadamente a 0,27 bar (8 pulgadas de mercurio) aproximadamente.
- 20 La región de escisión 5235C puede tener un radio de curvatura variable u, opcionalmente, un radio de curvatura constante. Un radio de curvatura constante de este tipo puede ser, por ejemplo, de 29,21 cm (11,5 pulgadas) aproximadamente, 31,75 cm (12,5 pulgadas) aproximadamente o entre 15,24 cm (6 pulgadas) aproximadamente y 45,72 cm (18 pulgadas) aproximadamente. Se puede usar cualquier intervalo de curvatura adecuado y se puede seleccionar en base a, en parte, el grosor de la oblea 45 y la profundidad y geometría de las líneas de trazo en la oblea 45. Típicamente, cuanto más delgada es la oblea, menor es el radio de curvatura requerido para flexionar la oblea lo suficiente como para cortarla a lo largo de una línea de trazo. Las líneas de trazo pueden tener una profundidad, por ejemplo, de 60 micrómetros aproximadamente a 140 micrómetros aproximadamente, aunque también se puede usar cualquier otra profundidad de línea de trazo más superficial o más profunda. Típicamente, cuanto más superficial es el trazo, menor es el radio de curvatura requerido para flexionar la oblea lo suficiente como para cortarla a lo largo de una línea de trazo. La conformación de sección transversal de la línea de trazo también afecta el radio de curvatura requerido. Una línea de trazo que tiene una conformación de cuña o una parte inferior con una conformación de cuña puede concentrar la tensión más eficazmente que una línea de trazo que tenga una conformación redondeada o una parte inferior redondeada. Es posible que las líneas de trazo que concentran la tensión más eficazmente no requieran un radio de curvatura tan cerrado en la región de escisión como las líneas de trazo que concentran la tensión menos eficazmente.
- 30 El vacío en la región de escisión 5235C, al menos para uno de los dos colectores de vacío paralelos, es típicamente mayor que en las otras regiones para garantizar que la oblea quede retenida apropiadamente en el radio de curvatura de escisión para mantener constante la tensión de flexión. Opcionalmente, y como se explica además a continuación, en esta región un colector puede proporcionar un vacío mayor que el otro para controlar mejor la formación de fisuras a lo largo de las líneas de trazo. El vacío en la región de escisión 5235C puede ser, por ejemplo, de 0,14 bar (4 pulgadas de mercurio) aproximadamente a 0,51 bar (15 pulgadas de mercurio) aproximadamente, o de 0,14 bar (4 pulgadas de mercurio) aproximadamente a 0,88 bar (26 pulgadas de mercurio) aproximadamente.
- 45 La región posterior a la escisión 5235PC tiene típicamente un radio de curvatura más cerrado que la región de escisión 5235C. Esto facilita la transferencia de las celdas solares escindidas desde las cintas 5230 sin permitir que las superficies fracturadas de celdas solares escindidas contiguas se rocen o se toquen (lo que podría provocar fallos en las celdas solares por fisuras u otros modos de fallo). En particular, un radio de curvatura más cerrado proporciona una mayor separación entre los bordes de celdas solares escindidas contiguas en las cintas. El vacío en la región posterior a la escisión 5235PC puede ser bajo (por ejemplo, similar o igual al de la región plana 5235F) porque las obleas 45 ya se han escindido en celdas solares 10, por lo que ya no es necesario retener las celdas solares en el radio curvo de los colectores de vacío. Los bordes de las celdas solares escindidas 10 se pueden despegar de las cintas 5230, por ejemplo. Además, puede ser deseable que las celdas solares escindidas 10 no tengan una tensión excesiva.
- 50 Las regiones plana, de transición, de escisión y posterior a la escisión de los colectores de vacío pueden ser porciones discretas de diferentes curvas con sus extremos emparejados. Por ejemplo, la superficie superior de cada colector puede comprender una porción horizontal plana, una porción de una elipse para la región de transición, un arco de círculo para la región de escisión y otro arco de círculo o porción de una elipse para la región posterior a la escisión. De forma alternativa, parte o toda la porción curva de la superficie superior de un colector puede comprender una función geométrica continua de curvatura creciente (diámetro decreciente del círculo osculador). Dichas funciones adecuadas pueden incluir, pero no se limitan a, funciones espirales tales como clotoides, por ejemplo, y la función
- 60

logarítmica natural. Una clotoide es una curva en la que la curvatura se incrementa linealmente a lo largo de la longitud de la trayectoria de la curva. Por ejemplo, en algunas variaciones, las regiones de transición, escisión y posterior a la escisión son todas parte de una única curva clotoide que tiene un extremo emparejado con la región plana. En algunas otras variaciones, la región de transición es una curva clotoide que tiene un extremo emparejado con la región plana y otro extremo emparejado con una región de escisión que tiene una curvatura circular. En estas últimas variaciones, la región posterior a la escisión puede tener, por ejemplo, una curvatura circular de radio más cerrado o una curvatura clotoide de radio más cerrado.

Como se indica anteriormente y como se ilustra esquemáticamente en la figura 62B y la figura 63A, en algunas variaciones, un colector proporciona un alto vacío en la región de escisión 5235C y el otro colector proporciona un bajo vacío en la región de escisión 5235C. El colector de alto vacío retiene completamente el extremo de la oblea que sostiene en la curvatura del colector, lo que proporciona suficiente tensión en el extremo de una línea de trazo suprayacente al colector de alto vacío para iniciar una fisura a lo largo de la línea de trazo. El colector de bajo vacío no retiene completamente el extremo de la oblea que sostiene en la curvatura del colector, por lo que el radio de curvatura de la oblea en ese lado no es lo suficientemente cerrado como para crear la tensión necesaria para iniciar una fisura en la línea de trazo. Sin embargo, la tensión es lo suficientemente alta como para propagar la fisura iniciada en el otro extremo de la línea de trazo suprayacente al colector de alto vacío. Sin algo de vacío en el lado de "bajo vacío" para retener parcial y suficientemente ese extremo de la oblea en la curvatura del colector, puede existir el riesgo de que la fisura que se inició en el extremo opuesto de "alto vacío" de la oblea no se propague por toda la oblea. En variaciones como las que se acaban de describir, un colector puede proporcionar opcionalmente un bajo vacío a lo largo de toda su longitud, desde la región plana 5235F hasta la región posterior a la escisión 5235PC.

Como se acaba de describir, una disposición de vacío asimétrica en la región de escisión 5235C proporciona una tensión asimétrica a lo largo de las líneas de trazo que controla la nucleación y la propagación de fisuras a lo largo de las líneas de trazo. En referencia, por ejemplo, a la figura 63B, si, en su lugar, los dos colectores de vacío proporcionan vacíos idénticos (por ejemplo, altos) en las regiones de escisión 5235C, las fisuras se pueden nuclear en ambos extremos de la oblea, propagarse una hacia la otra y encontrarse en algún punto de una región central de la oblea. En estas circunstancias, existe el riesgo de que las fisuras no estén alineadas entre sí y que, por lo tanto, produzcan un punto de fallo mecánico potencial en las celdas escindidas resultantes donde las fisuras se encuentran entre sí.

Como alternativa a la disposición de vacío asimétrica descrita anteriormente, o además de ella, la escisión se puede iniciar preferentemente en un extremo de una línea de trazo disponiendo que un extremo de la línea de trazo alcance la región de escisión de los colectores antes que el otro. Esto se puede lograr, por ejemplo, orientando las obleas de celda solar en un ángulo con respecto a los colectores de vacío como se describe anteriormente con respecto a la figura 20B. De forma alternativa, los colectores de vacío se pueden disponer de modo que la región de escisión de uno de los dos colectores esté más a lo largo de la trayectoria de la cinta que la región de escisión del otro colector de vacío. Por ejemplo, dos colectores de vacío que tienen la misma curvatura pueden estar ligeramente desplazados en la dirección de desplazamiento de la cinta móvil de modo que las obleas de celda solar lleguen a la región de escisión de un colector antes de llegar a la región de escisión del otro colector de vacío.

En referencia ahora a la figura 64, en el ejemplo ilustrado, cada colector de vacío 5235 comprende orificios pasantes 5240 dispuestos en línea en el centro de un canal de vacío 5245. Como se muestra en las figuras 65A-65B, el canal de vacío 5245 está empotrado en una superficie superior del colector que sostiene una cinta perforada 5230. Cada colector de vacío también comprende pilares centrales 5250 situados entre los orificios pasantes 5240 y dispuestos en línea en el centro del canal de vacío 5245. Los pilares centrales 5250 separan eficazmente el canal de vacío 5245 en dos canales de vacío paralelos a cada lado de la fila de pilares centrales. Los pilares centrales 5250 también proporcionan soporte a la cinta 5230. Sin los pilares centrales 5250, la cinta 5230 estaría expuesta a una región más larga no sostenida y podría potencialmente succionarse hacia los orificios pasantes 5240. Esto podría dar como resultado una flexión tridimensional de las obleas 45 (que se doblan con el radio de escisión y de forma perpendicular al radio de escisión), lo que podría dañar las celdas solares e interferir con el proceso de escisión.

Como se muestra en las figuras 65A-65B y las figuras 66-67, en el ejemplo ilustrado, los orificios pasantes 5240 se comunican con una cámara de bajo vacío 5260L (región plana 5235F y región de transición 5235T en la figura 62A), con una cámara de alto vacío 5260H (región de escisión 5235C en la figura 62A) y con otra cámara de bajo vacío 5260L (región posterior a la escisión 5235PC en la figura 62A). Esta disposición proporciona una transición suave entre regiones de bajo vacío y de alto vacío en el canal de vacío 5245. Los orificios pasantes 5240 proporcionan suficiente resistencia al flujo de modo que si la región a la que corresponde un orificio se deja completamente abierta, el flujo de aire no se desviará completamente hacia ese orificio, permitiendo que otras regiones mantengan el vacío. El canal de vacío 5245 ayuda a garantizar que los orificios de cinta de vacío 5255 siempre tengan vacío y no estén en un punto muerto cuando se sitúen entre los orificios pasantes 5240.

En referencia de nuevo a las figuras 65A-65B y también a la figura 67, las cintas perforadas 5230 pueden comprender, por ejemplo, dos filas de orificios 5255 dispuestos opcionalmente de modo que los bordes de entrada y de salida 527 de una oblea 45 o de una celda solar escindida 10 estén siempre bajo vacío a medida que la cinta avanza a lo largo del colector. En particular, la disposición escalonada de los orificios 5255 en el ejemplo ilustrado garantiza que los bordes de una oblea 45 o de una celda solar escindida 10 siempre se superpongan a al menos un orificio 5255 en cada cinta 5230. Esto ayuda a evitar que los bordes de una oblea 45 o de una celda solar escindida 10 se separen de la cinta 5230 y del colector 5235. También se puede usar cualquier otra disposición adecuada de los orificios 5255. En algunas variaciones, la disposición de los orificios 5255 no garantiza que los bordes de una oblea 45 o de una celda solar escindida 10 estén siempre bajo vacío.

Las cintas móviles perforadas 5230 en el ejemplo ilustrado de la herramienta de escisión 5210 hacen contacto con la parte inferior de la oblea de celda solar 45 solo a lo largo de dos tiras estrechas definidas por las anchuras de las cintas a lo largo de los bordes laterales de la oblea de celda solar. En consecuencia, la oblea de celda solar puede comprender materiales blandos tales como adhesivos no curados, por ejemplo, en la región de la superficie inferior de la oblea de celda solar que no hace contacto con las cintas 5230 sin riesgo de daño de los materiales blandos durante el proceso de escisión.

En variaciones alternativas, la herramienta de escisión 5210 puede utilizar, por ejemplo, una única cinta móvil perforada 5230 que tiene una anchura perpendicular a su dirección de desplazamiento aproximadamente igual a la anchura de la oblea de celda solar 45, en lugar de dos cintas móviles perforadas como se acaba de describir. De forma alternativa, la herramienta de escisión 5210 puede comprender tres, cuatro o más cintas móviles perforadas 5230 que pueden estar dispuestas lado a lado en paralelo y, opcionalmente, separadas entre sí. La herramienta de escisión 5210 puede utilizar un único colector de vacío 5235 que, por ejemplo, puede tener una anchura perpendicular a la dirección de desplazamiento de las celdas solares aproximadamente igual a la anchura de una oblea de celda solar 45. Un colector de vacío de este tipo se puede emplear, por ejemplo, con una única cinta móvil 5230 perforada en toda su anchura o con dos o más de dichas cintas dispuestas lado a lado en paralelo y, opcionalmente, espaciadas entre sí. La herramienta de escisión 5210 puede comprender, por ejemplo, una única cinta móvil perforada 5230 sostenida a lo largo de bordes laterales opuestos por dos colectores de vacío curvos 5235 dispuestos lado a lado en paralelo y espaciados entre sí, teniendo cada colector de vacío la misma curvatura. La herramienta de escisión 5210 puede comprender tres o más colectores de vacío curvos 5235 dispuestos lado a lado en paralelo y espaciados entre sí, teniendo cada colector de vacío la misma curvatura. Una disposición de este tipo se puede emplear, por ejemplo, con una única cinta móvil 5230 perforada en toda su anchura o con tres o más de dichas cintas dispuestas lado a lado en paralelo y, opcionalmente, espaciadas entre sí. La herramienta de escisión puede comprender una cinta móvil perforada 5230 para cada colector de vacío, por ejemplo.

En la herramienta de escisión 5210 se puede usar cualquier disposición adecuada de cintas móviles perforadas y de colectores de vacío.

Como se indica anteriormente, en algunas variaciones, las obleas de celda solar trazadas 45 escindidas con la herramienta de escisión 5210 comprenden material de unión adhesivo conductor no curado y/u otros materiales blandos en sus superficies superior y/o inferior antes de la escisión. El trazado de la oblea de celda solar y la aplicación del material blando se puede haber producido en cualquier orden.

Las cintas perforadas 5230 en la herramienta de escisión 5210 (y las cintas perforadas 1060 en la herramienta de escisión 1050) pueden transportar obleas de celda solar 45 a una velocidad de, por ejemplo, 40 milímetros/segundo (mm/s) aproximadamente a 2000 mm/s aproximadamente o superior, o de 40 mm/s aproximadamente a 500 mm/s aproximadamente o superior, o de 80 mm/s aproximadamente o superior. La escisión de las obleas de celda solar 45 puede ser más fácil a velocidades más altas que a velocidades más bajas.

En referencia ahora a la figura 68, una vez escindidas habrá cierta separación entre los bordes de entrada y de salida 527 de celdas escindidas contiguas 10 debido a la geometría de flexión alrededor de una curva, que crea un hueco con una conformación de cuña entre celdas solares escindidas contiguas. Si se permite que las celdas escindidas vuelvan a una orientación coplanaria plana sin incrementar primero la separación entre las celdas escindidas, existe la posibilidad de que los bordes de celdas escindidas contiguas entren en contacto y se dañen entre sí. Por lo tanto, es ventajoso retirar las celdas escindidas de las cintas 5230 (o cintas 1060) mientras todavía están sostenidas por una superficie curva.

Las figuras 69A-69G ilustran esquemáticamente varios aparatos y procedimientos mediante los que celdas solares escindidas se pueden retirar de las cintas 5230 (o cintas 1060) y entregarse a una o más cintas móviles o superficies móviles adicionales con una separación incrementada entre las celdas solares escindidas. En el ejemplo de la figura 69A, las celdas solares escindidas 10 se recogen de las cintas 5230 por una o más cintas de transferencia 5265, que

- se mueven más rápido que las cintas 5230 y que, por lo tanto, incrementan la separación entre las celdas solares escindidas 10. Las cintas de transferencia 5265 se pueden situar entre las dos cintas 5230, por ejemplo. En el ejemplo de la figura 69B, las obleas escindidas 10 se separan deslizándose hacia abajo por una corredera 5270 situada entre las dos cintas 5230. En este ejemplo, las cintas 5230 hacen avanzar cada celda escindida 10 hacia una región de bajo vacío (por ejemplo, sin vacío) de los colectores 5235 para liberar la celda escindida en la corredera 5270, mientras que la porción no escindida de la oblea 45 todavía está sostenida por las cintas 5230. Proporcionar un colchón de aire entre la celda escindida 10 y la corredera 5270 ayuda a garantizar que tanto la celda como la corredera no se desgasten durante el funcionamiento, y también permite que celdas escindidas 10 se deslicen más rápidamente alejándose de la oblea 45, permitiendo de este modo velocidades operativas más rápidas de la cinta de escisión.
- En el ejemplo de la figura 69C, carros 5275A en una disposición giratoria de "noria" 5275 transfieren celdas solares escindidas 10 desde las cintas 5230 a una o más cintas 5280.
- En el ejemplo de la figura 69D, el rodillo giratorio 5285 aplica un vacío a través de accionadores 5285A para recoger celdas solares escindidas 10 de las cintas 5230 y colocarlas en las cintas 5280.
- En el ejemplo de la figura 69E, un accionador de carro 5290 comprende un carro 5290A y un accionador extensible y retráctil 5290B montado en el carro. El carro 5290A se traslada de un lado a otro para situar el accionador 5290B para retirar una celda solar escindida 10 de las cintas 5230 y, a continuación, sitúa el accionador 5290B para colocar la celda solar escindida en las cintas 5280.
- En el ejemplo de la figura 69F, una disposición de carril de carro 5295 comprende carros 5295A acoplados a una cinta móvil 5300 que sitúa los carros 5295A para retirar celdas solares escindidas 10 de las cintas 5230 y, a continuación, sitúa los carros 5295A para colocar celdas solares escindidas 10 en las cintas 5280, produciéndose esto último cuando los carros se separan o alejan de la cinta 5280 debido a la trayectoria de la cinta 5230.
- En el ejemplo de la figura 69G, una disposición de cinta de vacío invertida 5305 aplica un vacío a través de una o más cintas móviles perforadas para transferir celdas solares escindidas 10 de las cintas 5230 a las cintas 5280.
- Las figuras 70A-70C proporcionan vistas ortogonales de una variación adicional de la herramienta de ejemplo descrita anteriormente con referencia a las figuras 62A-62B y figuras posteriores. Esta variación 5310 usa cintas de transferencia 5265, como en el ejemplo de la figura 69A, para retirar celdas solares escindidas 10 de las cintas perforadas 5230 que transportan una oblea no escindida 45 a la región de escisión de la herramienta. Las vistas en perspectiva de las figuras 71A-71B muestran esta variación de la herramienta de escisión en dos fases diferentes de funcionamiento. En la figura 71A, una oblea no escindida 45 se aproxima a la región de escisión de la herramienta, y en la figura 71B la oblea 45 ha entrado en la región de escisión y dos celdas solares escindidas 10 se han separado de la oblea y, a continuación, se separan más entre sí a medida que se transportan por cintas de transferencia 5265.
- Además de los rasgos característicos descritos previamente, las figuras 70A-71B muestran múltiples orificios de vacío 5315 en cada colector. El uso de múltiples orificios por colector puede permitir un mayor control sobre la variación de vacío a lo largo de la longitud de la superficie superior del colector. Por ejemplo, diferentes orificios de vacío 5315 se pueden comunicar opcionalmente con diferentes cámaras de vacío (por ejemplo, 5260L y 5260H en la figura 66 y la figura 72B), y/u conectarse opcionalmente a diferentes bombas de vacío, para proporcionar diferentes presiones de vacío a lo largo del colector. Las figuras 70A-70B también muestran las trayectorias completas de las cintas perforadas 5230, que forman un bucle alrededor de las ruedas 5325, las superficies superiores de los colectores de vacío 5235 y las ruedas 5320. Las cintas 5230 se pueden accionar por las ruedas 5320 o bien las ruedas 5325, por ejemplo.
- La figura 72A y la figura 72B muestran vistas en perspectiva de una porción de un colector de vacío 5235 cubierta por una porción de una cinta perforada 5230 para la variación de las figuras 70A-71B, y la figura 72A proporciona una vista ampliada de una porción de la figura 72B. La figura 73A muestra una vista superior de una porción del colector de vacío 5235 cubierta por una cinta perforada 5230, y la figura 73B muestra una vista en sección transversal de la misma disposición de colector de vacío y de cinta perforada tomada a lo largo de la línea C-C indicada en la figura 73A. Como se muestra en la figura 73B, las orientaciones relativas de los orificios pasantes 5240 pueden variar a lo largo del colector de vacío de modo que cada orificio pasante esté dispuesto de manera perpendicular a la porción de la superficie superior del colector directamente encima del orificio pasante. La figura 74A muestra otra vista superior de una porción del colector de vacío 5235 cubierta por una cinta perforada 5230, con cámaras de vacío 5260L y 5260H mostradas mediante líneas discontinuas. La figura 74B muestra una vista ampliada de una porción de la figura 74A.
- Las figuras 75A-75G muestran varios patrones de orificios de ejemplo que se pueden usar opcionalmente en las cintas de vacío perforadas 5230. Una característica común de estos patrones es que el borde recto de una oblea 45 o de una celda solar escindida 10 que cruza el patrón de manera perpendicular al eje largo de la cinta en cualquier localización

de la cinta siempre se superpondrá a al menos un orificio 5255 en cada cinta. Los patrones pueden comprender, por ejemplo, dos o más filas de orificios cuadrados o rectangulares escalonados (figuras 75A, 75D), dos o más filas de orificios circulares escalonados (figuras 75B, 75E, 75G), dos o más filas de ranuras en ángulo (figuras 75C, 75F) o cualquier otra disposición adecuada de orificios.

5 Esta memoria descriptiva divulga módulos solares de alta eficacia que comprenden celdas solares de silicio dispuestas de manera solapada superpuestas y conectadas eléctricamente en serie mediante uniones conductoras entre celdas solares contiguas superpuestas para formar superceldas, con las superceldas dispuestas en filas físicamente paralelas en el módulo solar. Una supercelda puede comprender cualquier número adecuado de celdas solares. Las superceldas pueden tener longitudes que abarcan esencialmente toda la longitud o anchura del módulo solar, por ejemplo, o dos o más superceldas pueden estar dispuestas de extremo a extremo en una fila. Esta disposición oculta las interconexiones eléctricas de celda solar a celda solar y, por lo tanto, se puede usar para crear un módulo solar visualmente atractivo con poco o ningún contraste entre celdas solares contiguas conectadas en serie.

15 Esta memoria descriptiva divulga además patrones de metalización de celda que facilitan la impresión con plantilla de una metalización en la superficie frontal (y opcionalmente) trasera de las celdas solares. Como se usa en el presente documento, "impresión con plantilla" de una metalización de celda se refiere a aplicar el material de metalización (por ejemplo, una pasta de plata) sobre la superficie de una celda solar a través de aberturas con patrones en una lámina de material de otro modo impermeable. La plantilla puede ser una lámina de acero inoxidable con patrones, por ejemplo.
20 Las aberturas con patrones en la plantilla están completamente libres de material de plantilla y, por ejemplo, no incluyen ninguna malla o pantalla. La ausencia de material de malla o pantalla en las aberturas de plantilla con patrones distingue la "impresión con plantilla" como se usa en el presente documento de la "serigrafía". Por el contrario, en la serigrafía, el material de metalización se aplica sobre la superficie de una celda solar a través de una pantalla (por ejemplo, una malla) que sostiene un material impermeable con patrones. El patrón comprende aberturas en el material impermeable a través de las que se aplica el material de metalización a la celda solar. La pantalla de soporte se extiende a través de las aberturas del material impermeable.

30 En comparación con la serigrafía, la impresión con plantilla de los patrones de metalización de celda ofrece numerosas ventajas, incluyendo anchuras de línea más estrechas, mayor proporción de aspecto (alto de línea con respecto a la anchura), mejor uniformidad y definición de línea, y mayor longevidad de una plantilla en comparación con una pantalla. Sin embargo, la impresión con plantilla no puede imprimir "islas" en una pasada, como se requeriría en los diseños convencionales de metalización con 3 barras colectoras. Además, la impresión con plantilla no puede imprimir en una pasada un patrón de metalización que requiera que la plantilla incluya estructuras sin soporte que no estén restringidas a estar en el plano de la plantilla durante la impresión y que puedan interferir con la colocación y el uso de la plantilla.
35 Por ejemplo, la impresión con plantilla no puede imprimir en una pasada un patrón de metalización en el que los dedos de metalización dispuestos en paralelo estén interconectados por una barra colectoras u otro rasgo característico de metalización que discurra perpendicular a los dedos, porque una única plantilla para un diseño de este tipo incluiría solapas sin soporte de material laminado definidas por la abertura para la barra colectoras y las aberturas para los dedos. Las solapas no estarían restringidas por conexiones físicas a otras porciones de la plantilla para estar en el plano de la plantilla durante la impresión y, probablemente, se saldrían del plano y distorsionarían la colocación y el uso de la plantilla.

45 En consecuencia, los intentos de usar plantillas para imprimir celdas solares tradicionales requieren dos pasadas para la metalización del lado frontal con dos plantillas diferentes, o con una etapa de impresión con plantilla en combinación con una etapa de serigrafía, lo que incrementa el número total de etapas de impresión por celda y lo que también crea un problema de "costura" donde las dos impresiones se superponen y dan como resultado una doble altura. La costura complica otros procesos, y la impresión adicional y las etapas relacionadas incrementan el coste. Por lo tanto, la impresión con plantilla no es común para las celdas solares.

50 Como se describe además a continuación, los patrones de metalización de superficie frontal descritos en el presente documento pueden comprender una matriz de dedos (por ejemplo, líneas paralelas) que no están conectados entre sí por el patrón de metalización de superficie frontal. Estos patrones se pueden imprimir con plantilla en una pasada con una única plantilla porque la plantilla requerida no necesita incluir partes o estructuras sin soporte (por ejemplo, solapas). Dichos patrones de metalización de superficie frontal pueden ser desventajosos para celdas solares de tamaño estándar y para cadenas de celdas solares en las que celdas solares espaciadas están interconectadas por bandas de cobre, porque el patrón de metalización no proporciona por sí mismo una distribución de corriente sustancial o una conducción eléctrica perpendicular a los dedos. Sin embargo, los patrones de metalización de superficie frontal descritos en el presente documento pueden funcionar bien en disposiciones solapadas de celdas solares rectangulares como se describe en el presente documento, en las que una porción del patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar se superpone por y se une de forma conductora al patrón de metalización de superficie trasera de una celda solar contigua. Esto se debe a que la metalización de superficie trasera superpuesta de la celda solar contigua

puede proporcionar una distribución de corriente y una conducción eléctrica perpendiculares a los dedos del patrón de metalización de superficie frontal.

5 Volviendo ahora a las figuras para un entendimiento más detallado de los módulos solares descritos en esta memoria descriptiva, la figura 1 muestra una vista en sección transversal de una cadena de celdas solares conectadas en serie 10 dispuestas de manera solapada, con los extremos de celdas solares contiguas superpuestos y conectados eléctricamente para formar una supercelda 100. Cada celda solar 10 comprende una estructura de diodos semiconductores y contactos eléctricos a la estructura de diodos semiconductores mediante los que la corriente eléctrica generada en la celda solar 10 cuando está iluminada por la luz se puede proporcionar a una carga externa.

10 En los ejemplos descritos en esta memoria descriptiva, cada celda solar 10 es una celda solar rectangular de silicio cristalino que tiene patrones de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) y de superficie trasera (lado en sombra) que proporcionan contacto eléctrico a los lados opuestos de un punto de unión n-p, el patrón de metalización de superficie frontal está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n y el patrón de metalización de superficie trasera está dispuesto sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p. Sin embargo, se pueden usar otros sistemas de materiales, estructuras de diodos, dimensiones físicas o disposiciones de contactos eléctricos si son adecuados. Por ejemplo, el patrón de metalización de superficie frontal (lado que da al sol) se puede disponer sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo p, y disponer el patrón de metalización de superficie trasera (lado en sombra) sobre una capa semiconductor de conductividad de tipo n.

20 En referencia de nuevo a la figura 1, en la supercelda 100, celdas solares contiguas 10 están unidas directamente entre sí de forma conductora en la región en la que se superponen mediante un material de unión eléctricamente conductor que conecta eléctricamente el patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar al patrón de metalización de superficie trasera de la celda solar contigua. Los materiales de unión eléctricamente conductores adecuados pueden incluir, por ejemplo, adhesivos eléctricamente conductores y películas adhesivas y cintas adhesivas eléctricamente conductoras, y soldaduras convencionales.

30 En referencia de nuevo a la figura 2, la figura 2 muestra un módulo solar rectangular 200 de ejemplo que comprende seis superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados largos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas en seis filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados largos del módulo. Un módulo solar configurado de forma similar puede incluir un número mayor o menor de filas de dichas superceldas de longitud lateral que las que se muestran en este ejemplo. En otras variaciones, cada una de las superceldas puede tener una longitud aproximadamente igual a la longitud de un lado corto de un módulo solar rectangular, y estar dispuestas en filas paralelas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados cortos del módulo. En aún otras disposiciones, cada fila puede comprender dos o más superceldas, que pueden estar interconectadas eléctricamente en serie, por ejemplo. Los módulos pueden tener lados cortos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1 metro aproximadamente y lados largos que tienen una longitud, por ejemplo, de 1,5 aproximadamente a 2,0 metros aproximadamente. También se puede usar cualquier otra conformación (por ejemplo, cuadrada) y dimensión adecuadas para los módulos solares. Cada supercelda de este ejemplo comprende 72 celdas solares rectangulares, teniendo cada una una anchura aproximadamente igual a 1/6 de la anchura de una oblea cuadrada o pseudocuadrada de 156 milímetros (mm) y una longitud de 156 mm aproximadamente. También se puede usar cualquier otro número adecuado de celdas solares rectangulares de cualquier otra dimensión adecuada.

45 La figura 76 muestra un patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo en una celda solar rectangular 10 que facilita la impresión con plantilla como se describe anteriormente. El patrón de metalización de superficie frontal se puede formar, por ejemplo, a partir de pasta de plata. En el ejemplo de la figura 76, el patrón de metalización de superficie frontal comprende una pluralidad de dedos 6015 que discurren paralelos entre sí, paralelos a los lados cortos de la celda solar y perpendiculares a los lados largos de la celda solar. El patrón de metalización de superficie frontal también comprende una fila de placas de contacto opcionales 6020 que discurren paralelas y contiguas al borde de un lado largo de la celda solar, con cada placa de contacto 6020 localizada en el extremo de un dedo 6015. Cuando está presente, cada placa de contacto 6020 crea un área para una perla individual de adhesivo eléctricamente conductor (ECA), soldadura u otro material de unión eléctricamente conductor usado para unir de forma conductora la superficie frontal de la celda solar ilustrada a una porción superpuesta de la superficie trasera de una celda solar contigua. Las placas pueden tener conformaciones circulares, cuadradas o rectangulares, por ejemplo, pero se puede usar cualquier conformación de placa adecuada. Como alternativa al uso de perlas individuales de material de unión eléctricamente conductor, una línea continua o discontinua de ECA, una soldadura, una cinta conductora u otro material de unión eléctricamente conductor dispuesto a lo largo del borde de un lado largo de la celda solar puede interconectar algunos o todos los dedos, así como unir la celda solar a una celda solar superpuesta contigua. Una línea discontinua o continua de este tipo de material de unión eléctricamente conductor se puede usar en combinación con placas conductoras en los extremos de los dedos, o sin dichas placas conductoras.

Una celda solar 10 puede tener, por ejemplo, una longitud de 156 mm aproximadamente, una anchura de 26 mm aproximadamente y, por tanto, una proporción de aspecto (longitud del lado corto/longitud del lado largo) de 1:6 aproximadamente. Se pueden preparar seis celdas solares de este tipo en una oblea de silicio de dimensiones estándar de 156 mm x 156 mm y, a continuación, se pueden separar (cortar) para proporcionar celdas solares como se ilustra. En otras variaciones, se pueden preparar ocho celdas solares 10 que tienen unas dimensiones de 19,5 mm x 156 mm aproximadamente y, por tanto, una proporción de aspecto de 1:8 aproximadamente, a partir de una oblea de silicio estándar. Más en general, las celdas solares 10 pueden tener proporciones de aspecto de, por ejemplo, 1:2 aproximadamente a 1:20 aproximadamente y se pueden preparar a partir de obleas de tamaño estándar o de obleas de cualquier otra dimensión adecuada.

En referencia de nuevo a la figura 76, el patrón de metalización de superficie frontal puede comprender, por ejemplo, de 60 dedos aproximadamente a 120 dedos aproximadamente por celda de 156 mm de ancho, por ejemplo, 90 dedos aproximadamente. Los dedos 6015 pueden tener anchuras de, por ejemplo, 10 micrómetros aproximadamente a 90 micrómetros aproximadamente, por ejemplo de 30 micrómetros aproximadamente. Los dedos 6015 pueden tener alturas perpendiculares a la superficie de la celda solar de, por ejemplo, 10 micrómetros aproximadamente a 50 micrómetros aproximadamente. Las alturas de los dedos pueden ser, por ejemplo, de 10 micrómetros aproximadamente o más, de 20 micrómetros aproximadamente o más, de 30 micrómetros aproximadamente o más, de 40 micrómetros aproximadamente o más, o de 50 micrómetros aproximadamente o más. Las placas 6020 pueden tener diámetros (círculos) o longitudes laterales (cuadrados o rectángulos) de, por ejemplo, 0,1 mm aproximadamente a 1 mm aproximadamente, por ejemplo de 0,5 mm aproximadamente.

El patrón de metalización de superficie trasera para la celda solar rectangular 10 puede comprender, por ejemplo, una fila de placas de contacto discretas, una fila de placas de contacto interconectadas o una barra colectora continua que discurre paralela y contigua a un borde de un lado largo de la celda solar. Sin embargo, dichas placas de contacto o barras colectoras no son necesarias. Si el patrón de metalización de superficie frontal comprende placas de contacto 6020 dispuestas a lo largo de un borde de uno de los lados largos de la celda solar, entonces la fila de placas de contacto o la barra colectora (si está presente) en el patrón de metalización de superficie trasera está dispuesta a lo largo de un borde del otro lado largo de la celda solar. El patrón de metalización de superficie trasera puede comprender además un contacto posterior metálico que cubra sustancialmente toda la superficie trasera restante de la celda solar. El patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo de la figura 77A comprende una fila de placas de contacto discretas 6025 en combinación con un contacto posterior metálico 6030 como se acaba de describir, y el patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo de la figura 77B comprende una barra colectora continua 35 en combinación con un contacto posterior metálico 6030 como se acaba de describir.

En una supercelda solapada, el patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar está unido de forma conductora a una porción superpuesta del patrón de metalización de superficie trasera de una celda solar contigua. Por ejemplo, si las celdas solares comprenden placas de contacto de metalización de superficie frontal 6020, cada placa de contacto 6020 se puede alinear con y unirse a una placa de contacto de metalización de superficie trasera 6025 correspondiente (si está presente), o alinearse con y unirse a una barra colectora de metalización de superficie trasera 35 (si está presente), o unirse a un contacto posterior metálico 6030 (si está presente) en la celda solar contigua. Esto se puede lograr, por ejemplo, con porciones discretas (por ejemplo, perlas) de material de unión eléctricamente conductor dispuestas en cada placa de contacto 6020, o con una línea discontinua o continua de material de unión eléctricamente conductor que discurre en paralelo al borde de la celda solar y que, opcionalmente, interconecta eléctricamente dos o más de las placas de contacto 6020.

Si las celdas solares carecen de placas de contacto de metalización de superficie frontal 6020, entonces, por ejemplo, cada dedo de patrón de metalización de superficie frontal 6015 se puede alinear con y unir a una placa de contacto de metalización de superficie trasera 6025 correspondiente (si está presente), o unir a una barra colectora de metalización de superficie trasera 35 (si está presente) o unir a un contacto posterior metálico 6030 (si está presente) en la celda solar contigua. Esto se puede lograr, por ejemplo, con porciones discretas (por ejemplo, perlas) de material de unión eléctricamente conductor dispuestas en el extremo superpuesto de cada dedo 6015, o con una línea discontinua o continua de material de unión eléctricamente conductor que discurre en paralelo al borde de la celda solar y que, opcionalmente, interconecta eléctricamente dos o más de los dedos 6015.

Como se indica anteriormente, las porciones de la metalización de superficie trasera superpuesta de la celda solar contigua, por ejemplo, una barra colectora de superficie trasera 35 y/o el contacto metálico posterior 6030, si está presente, pueden proporcionar una distribución de corriente y una conducción eléctrica perpendiculares a los dedos del patrón de metalización de superficie frontal. En variaciones que utilizan líneas discontinuas o continuas de material de unión eléctricamente conductor como se describe anteriormente, el material de unión eléctricamente conductor puede proporcionar la distribución de corriente y la conducción eléctrica perpendiculares a los dedos del patrón de metalización de superficie frontal. La metalización trasera superpuesta y/o el material de unión eléctricamente

conductor pueden, por ejemplo, transportar corriente para eludir los dedos rotos u otras interrupciones en los dedos del patrón de metalización de superficie frontal.

5 Las placas de contacto de metalización de superficie trasera 6025 y la barra colectora 35, si están presentes, se pueden formar, por ejemplo, a partir de pasta de plata, que se puede aplicar mediante impresión con plantilla, serigrafía o cualquier otro procedimiento adecuado. El contacto posterior metálico 6030 se puede formar, por ejemplo, a partir de aluminio.

10 También se puede usar cualquier otro patrón y material de metalización de superficie trasera adecuado.

La figura 78 muestra un patrón de metalización de superficie frontal de ejemplo en una celda solar cuadrada 6300 que se puede cortar para formar una pluralidad de celdas solares rectangulares, teniendo cada una el patrón de metalización de superficie frontal mostrado en la figura 76.

15 La figura 79 muestra un patrón de metalización de superficie trasera de ejemplo en una celda solar cuadrada 6300 que se puede cortar para formar una pluralidad de celdas solares rectangulares, teniendo cada una el patrón de metalización de superficie trasera mostrado en la figura 77A.

20 Los patrones de metalización de superficie frontal descritos en el presente documento pueden posibilitar la impresión con plantilla de la metalización de superficie frontal en una línea de producción estándar de celdas solares con tres impresoras. Por ejemplo, el proceso de producción puede comprender aplicar una pasta de plata mediante impresión con plantilla o serigrafía sobre la superficie trasera de una celda solar cuadrada para formar placas de contacto de superficie trasera o una barra colectora de plata de superficie trasera usando una primera impresora, a continuación secar la pasta de plata de superficie trasera, a continuación imprimir con plantilla o serigrafar un contacto de aluminio en la superficie trasera de la celda solar usando una segunda impresora, a continuación secar el contacto de aluminio, a continuación aplicar pasta de plata mediante impresión con plantilla en la superficie frontal de la celda solar para formar un patrón de metalización de superficie frontal completo usando una única plantilla en una única etapa de impresión con plantilla con una tercera impresora, a continuación secar la pasta de plata, a continuación, someter la celda solar a cocción. Estas etapas de impresión y otras relacionadas se pueden producir en cualquier otro orden, u omitirse, según convenga.

35 El uso de una plantilla para imprimir el patrón de metalización de superficie frontal posibilita la producción de dedos más estrechos que los posibles con la serigrafía, lo que puede mejorar la eficacia de las celdas solares y disminuir el uso de plata y, por tanto, el coste de producción. La impresión con plantilla del patrón de metalización de superficie frontal en una única etapa de impresión con plantilla con una única plantilla posibilita la producción de un patrón de metalización de superficie frontal que tiene una altura uniforme, por ejemplo, que no presenta costuras, como puede ocurrir si múltiples plantillas o la impresión con plantilla en combinación con la serigrafía se usan para impresiones superpuestas para definir rasgos característicos que se extienden en diferentes direcciones.

40 Después de que se forman los patrones de metalización de superficies frontal y trasera en las celdas solares cuadradas, cada celda solar cuadrada se puede separar en dos o más celdas solares rectangulares. Esto se puede lograr, por ejemplo, mediante trazado con láser seguido de escisión, o mediante cualquier otro procedimiento adecuado. A continuación, las celdas solares rectangulares se pueden disponer de manera solapada superpuestas y unirse de forma conductora entre sí como se describe anteriormente para formar una supercelda. Esta memoria descriptiva divulga procedimientos para fabricar celdas solares con pérdidas reducidas por recombinación de portadores en los bordes de la celda solar, por ejemplo, sin bordes escindidos que favorezcan la recombinación de portadores. Las celdas solares pueden ser celdas solares de silicio, por ejemplo, y, más en particular, pueden ser celdas solares de silicio HIT. Esta memoria descriptiva también divulga disposiciones solapadas (superpuestas) de dichas celdas solares. Las celdas solares individuales en una supercelda de este tipo pueden tener geometrías rectangulares estrechas (por ejemplo, conformaciones similares a tiras), con los lados largos de celdas solares contiguas dispuestos para superponerse.

55 Un desafío importante para la implementación rentable de celdas solares de alta eficacia, tales como las celdas solares HIT, es la necesidad convencionalmente percibida de grandes cantidades de metal para transportar una gran corriente desde una celda solar de alta eficacia de este tipo a una celda solar contigua de alta eficacia conectada en serie. Cortar dichas celdas solares de alta eficacia en tiras de celda solar rectangulares estrechas y, a continuación, disponer las celdas solares resultantes en un patrón superpuesto (solapado) con uniones conductoras entre las porciones superpuestas de celdas solares contiguas para formar una cadena de celdas solares conectadas en serie en una supercelda, presenta una oportunidad para reducir el coste de los módulos a través de una simplificación del proceso. Esto se debe a que se pueden eliminar etapas de proceso de conexión mediante lengüetas que se requieren convencionalmente para interconectar celdas solares contiguas con bandas metálicas. Este enfoque de solapamiento también puede mejorar la eficacia de los módulos al reducir la corriente a través de las celdas solares (porque las tiras

de celda solar individuales pueden tener áreas activas más pequeñas que las convencionales) y al reducir la longitud de ruta de corriente entre celdas solares contiguas, donde ambos aspectos tienden a reducir la pérdida resistiva. La corriente reducida también puede permitir la sustitución de conductores más costosos pero menos resistivos (por ejemplo, plata) por conductores menos costosos pero más resistivos (por ejemplo, cobre) sin una pérdida significativa en el rendimiento. Además, este enfoque de solapamiento puede reducir el área de módulo inactiva al eliminar las bandas de interconectores, y los contactos relacionados, de las superficies frontales de las celdas solares.

Las celdas solares de tamaño convencional pueden tener, por ejemplo, superficies frontal y trasera sustancialmente cuadradas con dimensiones de 156 milímetros (mm) aproximadamente x 156 mm aproximadamente. En el esquema de solapamiento que se acaba de describir, una celda solar de este tipo se corta en dos o más (por ejemplo, de dos a veinte) tiras de celda solar de 156 mm de largo. Una posible dificultad con este enfoque de solapamiento es que cortar una celda solar de tamaño convencional en tiras delgadas incrementa la longitud del borde de celda por área activa de celda solar en comparación con una celda solar de tamaño convencional, lo que puede degradar el rendimiento debido a la recombinación de portadores en los bordes.

Por ejemplo, la figura 80 ilustra esquemáticamente el corte de una celda solar HIT 7100 que tiene dimensiones de superficie frontal y trasera de 156 mm aproximadamente x 156 mm aproximadamente en varias tiras de celda solar (7100a, 7100b, 7100c y 7100d), de las que cada una tiene superficies frontal y trasera rectangulares estrechas con dimensiones de 156 mm aproximadamente x 40 mm aproximadamente. (Los lados largos de 156 mm de las tiras de celda solar se extienden hacia el interior de la página). En el ejemplo ilustrado, la celda HIT 7100 comprende una base monocristalina de tipo n 5105, que puede tener, por ejemplo, un grosor de 180 micrómetros aproximadamente y superficies frontal y trasera cuadradas con dimensiones de 156 mm aproximadamente x 156 mm aproximadamente. Una capa de aproximadamente 5 nanómetros (nm) de grosor de Si:H amorfo intrínseco (a-Si:H) y una capa de aproximadamente 5 nm de grosor de a-Si:H dopado con n+ (ambas capas juntas indicadas mediante el número de referencia 7110) se disponen sobre la superficie frontal de base de silicio cristalino 7105. Una película 5120 de aproximadamente 65 nm de grosor de un óxido conductor transparente (TCO) se dispone sobre las capas de a-Si:H 7110. Líneas de rejilla de metal conductor 7130 dispuestas en una capa de TCO 7120 proporcionan contacto eléctrico con la superficie frontal de la celda solar. Una capa de aproximadamente 5 nm de grosor de a-Si:H intrínseco y una capa de aproximadamente 5 nm de grosor de a-Si:H dopado con p+ (ambas capas juntas indicadas mediante el número de referencia 7115) se disponen sobre la superficie trasera de base de silicio cristalino 7105. Una película 7125 de aproximadamente 65 nm de grosor de un óxido conductor transparente (TCO) está dispuesta sobre las capas de a-Si:H 7115, y líneas de rejilla de metal conductor 7135 dispuestas sobre la capa de TCO 7125 proporcionan contacto eléctrico con la superficie trasera de la celda solar. (Las dimensiones y los materiales citados anteriormente pretenden ser ejemplares en lugar de limitantes, y pueden variar según convenga).

Todavía en referencia a la figura 80, si la celda solar HIT 7100 se escinde mediante procedimientos convencionales para formar celdas solares en tiras 7100a, 7100b, 7100c y 7100d, los bordes escindidos 7140 recién formados no se someten a pasivación. Estos bordes no pasivados contienen una alta densidad de enlaces químicos libres que favorecen la recombinación de portadores y reducen el rendimiento de las celdas solares. En particular, la superficie escindida 7145 que expone el punto de unión n-p y la superficie escindida que expone el campo de superficie frontal altamente dopada (en las capas 7110) no están pasivadas y pueden favorecer significativamente la recombinación de portadores. Además, si se usan procesos convencionales de corte por láser o de trazado por láser para cortar la celda solar 7100, se pueden producir daños térmicos tales como la recristalización 7150 del silicio amorfo en los bordes recién formados. Como resultado de los bordes no pasivados y el daño térmico, si se usan procesos de fabricación convencionales, se puede esperar que los nuevos bordes formados en las celdas solares escindidas 7100a, 7100b, 7100c y 7100d reduzcan la corriente de cortocircuito, el voltaje de circuito abierto y el factor de pseudollenado de las celdas solares. Esto equivale a una reducción significativa en el rendimiento de las celdas solares.

La formación de bordes que favorecen la recombinación durante el corte de una celda solar HIT de tamaño convencional en tiras de celda solar más estrechas se puede evitar con el procedimiento ilustrado en las figuras 85A-85J. Este procedimiento usa surcos de aislamiento en las superficies frontal y trasera de la celda solar de tamaño convencional 7100 para aislar eléctricamente el punto de unión p-n y el campo de superficie frontal altamente dopada de los bordes escindidos que, de otro modo, podrían actuar como sitios de recombinación para portadores minoritarios. Los bordes de surco no se definen mediante una escisión convencional, sino mediante grabado químico o formación de patrones con láser, seguido del depósito de una capa de pasivación, tal como un TCO, que pasiva los surcos tanto frontales como traseros. En comparación con las regiones altamente dopadas, el dopado de la base es lo suficientemente bajo como para que la probabilidad de que los electrones en el punto de unión lleguen a los bordes cortados no pasivados de la base sea pequeña. Además, se puede usar una técnica de corte de oblea sin entalladuras, la separación térmica por láser (TLS), para cortar las obleas, evitando posibles daños térmicos.

En el ejemplo ilustrado en las figuras 85A-85J, el material de partida es una oblea de silicio monocristalino de tipo n

cortada en un cuadrado de 156 mm aproximadamente, que puede tener una resistividad global de, por ejemplo, 1 ohmio-centímetros aproximadamente a 3 ohmio-centímetros aproximadamente, y puede tener, por ejemplo, un grosor de 180 micrómetros aproximadamente. (La oblea 7105 forma la base de las celdas solares).

5 En referencia a la figura 81A, la oblea así cortada 7105 se somete a un grabado de textura, se limpia con ácido, se aclara y se seca de forma convencional.

Seguidamente, en la figura 81B, una capa de a-Si:H intrínseco de aproximadamente 5 nm de grosor y una capa de a-Si:H dopada con n⁺ de aproximadamente 5 nm de grosor (ambas capas juntas indicadas por el número de referencia 7110) se depositan sobre la superficie frontal de la oblea 7105 por depósito de vapor químico potenciado con plasma (PECVD), por ejemplo, a una temperatura de 150 °C aproximadamente a 200 °C aproximadamente, por ejemplo.

10 Seguidamente, en la figura 81C, una capa de a-Si:H intrínseco de aproximadamente 5 nm de grosor y una capa de a-Si:H dopada con p⁺ de aproximadamente 5 nm de grosor (ambas capas juntas indicadas por el número de referencia 7115) se depositan sobre la superficie trasera de la oblea 7105 por PECVD, por ejemplo, a una temperatura de 150 °C aproximadamente a 200 °C aproximadamente, por ejemplo.

20 Seguidamente, en la figura 81D, en las capas frontales de a-Si:H 7110 se forman patrones para formar surcos de aislamiento 7112. Los surcos de aislamiento 7112 penetran típicamente en las capas 7110 para llegar a la oblea 7105 y pueden tener anchuras de, por ejemplo, 100 micrómetros aproximadamente a 1000 micrómetros aproximadamente, por ejemplo de 200 micrómetros aproximadamente. Típicamente, los surcos tienen las anchuras más pequeñas que se pueden usar, dependiendo de la precisión de las técnicas de formación de patrones y las técnicas de escisión aplicadas posteriormente. La formación de patrones con los surcos 7112 se puede lograr, por ejemplo, usando formación de patrones por láser o grabado químico (por ejemplo, formación húmeda de patrones mediante chorro de tinta).

30 Seguidamente, en la figura 81E, en las capas traseras de a-Si:H 7115 se forman patrones para formar surcos de aislamiento 7117. De forma similar a los surcos de aislamiento 7112, los surcos de aislamiento 7117 penetran típicamente en las capas 7115 para llegar a la oblea 7105 y pueden tener anchuras de, por ejemplo, 100 micrómetros aproximadamente a 1000 micrómetros aproximadamente, por ejemplo de 200 micrómetros aproximadamente. La formación de patrones con los surcos 7117 se puede lograr, por ejemplo, usando formación de patrones por láser o grabado químico (por ejemplo, formación húmeda de patrones mediante chorro de tinta). Cada surco 7117 está en línea con un surco 7112 correspondiente en la superficie frontal de la estructura.

35 Seguidamente, en la figura 81F, una capa de TCO 7120 de aproximadamente 65 nm de grosor se deposita sobre las capas de a-Si:H frontales con patrones 7110. Esto se puede lograr mediante depósito físico de vapor (PVD) o mediante recubrimiento iónico, por ejemplo. La capa de TCO 7120 llena los surcos 7112 de las capas de a-Si:H 7110 y recubre los bordes exteriores de las capas 7110, pasivando de este modo las superficies de las capas 7110. La capa de TCO 7120 también funciona como un recubrimiento antirreflectante.

40 Seguidamente, en la figura 81G, una capa de TCO 7125 de aproximadamente 65 nm de grosor se deposita sobre las capas de a-Si:H traseras con patrones 7115. Esto se puede lograr mediante PVD o mediante recubrimiento iónico, por ejemplo. La capa de TCO 7125 llena los surcos 7117 de las capas de a-Si:H 7115 y recubre los bordes exteriores de las capas 115, pasivando de este modo las superficies de las capas 7115. La capa de TCO 7125 también funciona como un recubrimiento antirreflectante.

45 Seguidamente, en la figura 81H, líneas de rejilla de superficie frontal conductoras (por ejemplo, metálicas) 7130 se serigrafian sobre la capa de TCO 7120. Las líneas de rejilla 7130 se pueden formar a partir de pastas de plata a baja temperatura, por ejemplo.

50 Seguidamente, en la figura 81I, líneas de rejilla de superficie trasera conductoras (por ejemplo, metálicas) 7135 se serigrafian sobre la capa de TCO 7125. Las líneas de rejilla 7135 se pueden formar a partir de pastas de plata a baja temperatura, por ejemplo.

55 Seguidamente, después de depositar las líneas de rejilla 7130 y las líneas de rejilla 7135, la celda solar se cura a una temperatura de 200 °C aproximadamente durante 30 minutos aproximadamente, por ejemplo.

60 Seguidamente, en la figura 81J, la celda solar se separa en tiras de celda solar 7155a, 7155b, 7155c y 7155d cortando la celda solar en los centros de los surcos. El corte se puede realizar, por ejemplo, usando trazado por láser y escisión mecánica convencionales en el centro de los surcos para escindir la celda solar en línea con los surcos. De forma alternativa, el corte se puede lograr usando un proceso de separación térmica por láser (como el desarrollado por

Jenoptik AG, por ejemplo) en el que el calentamiento inducido por láser en los centros de los surcos induce una tensión mecánica que da lugar a la escisión de la celda solar en línea con los surcos. Este último enfoque puede evitar daños térmicos en los bordes de las celdas solares.

5 Las celdas solares en tira 7155a-7155d resultantes difieren de las celdas solares en tira 7100a-7100d mostradas en la figura 80. En particular, los bordes de las capas de a-Si:H 7110 y de las capas de a-Si:H 7115 en las celdas solares 7140a-7140d se forman mediante grabado o formación de patrones con láser, no mediante escisión mecánica. Además, los bordes de las capas 7110 y 7115 en las celdas solares 7155a-7155d se pasivan mediante una capa de TCO. Como resultado, las celdas solares 7140a-7140d carecen de la recombinación de portadores que favorece los
10 bordes escindidos que están presentes en las celdas solares 7100a-7100d.

El procedimiento descrito con respecto a las figuras 81A-81J pretende ser ejemplar en lugar de limitante. Las etapas descritas como realizadas en secuencias particulares se pueden realizar en otras secuencias o en paralelo, según convenga. Las etapas y las capas de material se pueden omitir, añadir o sustituir según convenga. Por ejemplo, si se
15 usa metalización chapada en cobre, entonces se pueden incluir en el proceso etapas adicionales de depósito de capa semilla y de formación de patrones. Además, en algunas variaciones, solo las capas frontales de a-Si:H 7110 tienen patrones para formar surcos de aislamiento, y no se forman surcos de aislamiento en las capas traseras de a-Si:H 7115. En otras variaciones, solo las capas traseras de a-Si:H 7115 tienen patrones para formar surcos de aislamiento, y no se forman surcos de aislamiento en las capas frontales de a-Si:H 7115. Como en el ejemplo de las figuras 81A-
20 81J, en estas variaciones el corte también se produce en los centros de los surcos.

La formación de bordes que favorecen la recombinación durante el corte de una celda solar HIT de tamaño convencional en tiras de celda solar más estrechas también se puede evitar con el procedimiento ilustrado en las
25 figuras 82A-82J, que también usa surcos de aislamiento de forma similar a los empleados en el procedimiento descrito con respecto a las figuras 81A-81J.

En referencia a la figura 82A, en este ejemplo el material de partida es de nuevo una oblea 7105 de silicio monocristalino de tipo n cortada en un cuadrado de 156 mm aproximadamente, que puede tener una resistividad global de, por ejemplo, 1 ohmio-centímetros aproximadamente, y puede tener, por ejemplo,
30 un grosor de 180 micrómetros aproximadamente.

En referencia a la figura 82B, se forman surcos 7160 en la superficie frontal de la oblea 7105. Estos surcos pueden tener profundidades de, por ejemplo, 80 micrómetros aproximadamente a 150 micrómetros aproximadamente, por ejemplo, de 90 micrómetros aproximadamente, y pueden tener anchuras, por ejemplo, de 10 micrómetros
35 aproximadamente a 100 micrómetros aproximadamente. Los surcos de aislamiento 7160 definen la geometría de las tiras de celda solar que se van a formar a partir de la oblea 7105. Como se explica a continuación, la oblea 7105 se escindirán en línea con estos surcos. Los surcos 7160 se pueden formar mediante el trazado convencional de obleas por láser, por ejemplo.

40 Seguidamente, en la figura 82C, la oblea 7105 se somete a un grabado de textura, se limpia con ácido, se aclara y se seca de forma convencional. Típicamente, el grabado elimina el daño inicialmente presente en las superficies de la oblea así cortada 7105 o causado durante la formación de los surcos 7160. El grabado también puede ensanchar y profundizar los surcos 7160.

45 Seguidamente, en la figura 82D, una capa de a-Si:H intrínseco de aproximadamente 5 nm de grosor y una capa de a-Si:H dopada con n+ de aproximadamente 5 nm de grosor (ambas capas juntas indicadas por el número de referencia 7110) se depositan sobre la superficie frontal de la oblea 7105 por PECVD, por ejemplo, a una temperatura de 150 °C aproximadamente a 200 °C aproximadamente, por ejemplo.

50 Seguidamente, en la figura 82E, una capa de a-Si:H intrínseco de aproximadamente 5 nm de grosor y una capa de a-Si:H dopada con p+ de aproximadamente 5 nm de grosor (ambas capas juntas indicadas por el número de referencia 7115) se depositan sobre la superficie trasera de la oblea 7105 por PECVD, por ejemplo, a una temperatura de 150 °C aproximadamente a 200 °C aproximadamente, por ejemplo.

55 Seguidamente, en la figura 82F, una capa de TCO 7120 de aproximadamente 65 nm de grosor se deposita sobre las capas de a-Si:H frontales 7110. Esto se puede lograr mediante depósito físico de vapor (PVD) o mediante recubrimiento iónico, por ejemplo. La capa de TCO 7120 puede llenar los surcos 7160 y, típicamente, recubre las paredes y las partes inferiores de los surcos 7160 y los bordes exteriores de las capas 7110, pasivando de este modo las superficies recubiertas. La capa de TCO 7120 también funciona como un recubrimiento antirreflectante.
60

Seguidamente, en la figura 82G, una capa de TCO 7125 de aproximadamente 65 nm de grosor se deposita sobre las

capas de a-Si:H traseras 7115. Esto se puede lograr mediante PVD o mediante recubrimiento iónico, por ejemplo. La capa de TCO 7125 pasiva las superficies (por ejemplo, incluyendo los bordes exteriores) de las capas 7115 y también funciona como un recubrimiento antirreflectante.

5 Seguidamente, en la figura 82H, líneas de rejilla de superficie frontal conductoras (por ejemplo, metálicas) 7130 se serigrafían sobre la capa de TCO 7120. Las líneas de rejilla 7130 se pueden formar a partir de pastas de plata a baja temperatura, por ejemplo.

10 Seguidamente, en la figura 82I, líneas de rejilla de superficie trasera conductoras (por ejemplo, metálicas) 7135 se serigrafían sobre la capa de TCO 7125. Las líneas de rejilla 7135 se pueden formar a partir de pastas de plata a baja temperatura, por ejemplo.

15 Seguidamente, después de depositar las líneas de rejilla 7130 y las líneas de rejilla 7135, la celda solar se cura a una temperatura de 200 °C aproximadamente durante 30 minutos aproximadamente, por ejemplo.

20 Seguidamente, en la figura 82J, la celda solar se separa en tiras de celda solar 7165a, 7165b, 7165c y 7165d cortando la celda solar en los centros de los surcos. El corte se puede realizar, por ejemplo, usando escisión mecánica convencional en el centro de los surcos para escindir la celda solar en línea con los surcos. De forma alternativa, el corte se puede lograr usando un proceso de separación térmica por láser como se describe anteriormente, por ejemplo.

25 Las celdas solares en tira 7165a-7165d resultantes difieren de las celdas solares en tira 7100a-7100d mostradas en la figura 80. En particular, los bordes de las capas de a-Si:H 7110 en las celdas solares 7165a-7165d se forman mediante grabado, no mediante escisión mecánica. Además, los bordes de las capas 7110 en las celdas solares 7165a-7165d se pasivan mediante una capa de TCO. Como resultado, las celdas solares 7165a-7165d carecen de la recombinación de portadores que favorece los bordes escindidos que están presentes en las celdas solares 7100a-7100d.

30 El procedimiento descrito con respecto a las figuras 82A-82J pretende ser ejemplar en lugar de limitante. Las etapas descritas como realizadas en secuencias particulares se pueden realizar en otras secuencias o en paralelo, según convenga. Las etapas y las capas de material se pueden omitir, añadir o sustituir según convenga. Por ejemplo, si se usa metalización chapada en cobre, entonces se pueden incluir en el proceso etapas adicionales de depósito de capa semilla y de formación de patrones. Además, en algunas variaciones, los surcos 7160 se pueden formar en la superficie trasera de la oblea 7105 en lugar de en la superficie frontal de la oblea 7105.

35 Los procedimientos descritos anteriormente con respecto a las figuras 81A-81J y 86A-86J se pueden aplicar a celdas solares HIT tanto de tipo n como de tipo p. Las celdas solares pueden ser de emisor frontal o de emisor trasero. Puede ser preferente aplicar el proceso de separación en el lado sin emisor. Además, el uso de surcos de aislamiento y de capas de pasivación como se describe anteriormente para reducir la recombinación en los bordes de oblea escindidos se puede aplicar a otros diseños de celda solar y a celdas solares que usen sistemas de materiales distintos al silicio.

40 En referencia de nuevo a la figura 1, una cadena de celdas solares conectadas en serie 10 formadas por los procedimientos descritos anteriormente se pueden disponer de forma ventajosa de manera solapada con los extremos de celdas solares contiguas superpuestas y conectados eléctricamente para formar una supercelda 100. En la supercelda 100, celdas solares contiguas 10 están unidas entre sí de forma conductora en la región en la que se superponen mediante un material de unión eléctricamente conductor que conecta eléctricamente el patrón de metalización de superficie frontal de una celda solar al patrón de metalización de superficie trasera de la celda solar contigua. Los materiales de unión eléctricamente conductores adecuados pueden incluir, por ejemplo, adhesivos eléctricamente conductores y películas adhesivas y cintas adhesivas eléctricamente conductoras, y soldaduras convencionales.

50 En referencia de nuevo a las figuras 5A-5B, la figura 5A muestra un módulo solar rectangular 200 de ejemplo que comprende veinte superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la mitad de la longitud de los lados cortos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas de extremo a extremo en pares para formar diez filas de superceldas, con las filas y los lados largos de las superceldas orientados en paralelo a los lados cortos del módulo solar. En otras variaciones, cada fila de superceldas puede incluir tres o más superceldas.

55 Además, en otras variaciones, las superceldas se pueden disponer de extremo a extremo en filas, con las filas y los lados largos de las superceldas orientados en paralelo a los lados largos de un módulo solar rectangular u orientados en paralelo a un lado de un módulo solar cuadrado. Además, un módulo solar puede incluir un número mayor o menor de superceldas y un número mayor o menor de filas de superceldas que lo mostrado en este ejemplo.

60 El hueco opcional 210 mostrado en la figura 5A puede estar presente para facilitar el contacto eléctrico con los contactos de extremo de superficie frontal de las superceldas 100 a lo largo de la línea central del módulo solar, en

5 variaciones donde las superceldas de cada fila están dispuestas de modo que al menos una de las mismas tenga un contacto de extremo de superficie frontal en el extremo de la supercelda contigua a la otra supercelda de la fila. En variaciones en las que cada fila de superceldas incluye tres o más superceldas, puede haber huecos opcionales adicionales entre las superceldas para facilitar de forma similar el contacto eléctrico con los contactos de extremo de superficie frontal que están localizados lejos de los lados del módulo solar.

10 La figura 5B muestra otro módulo solar rectangular 300 de ejemplo que comprende diez superceldas rectangulares 100, de las que cada una tiene una longitud aproximadamente igual a la longitud de los lados cortos del módulo solar. Las superceldas están dispuestas con sus lados largos orientados en paralelo a los lados cortos del módulo. En otras variaciones, las superceldas pueden tener longitudes aproximadamente iguales a la longitud de los lados largos de un módulo solar rectangular y pueden estar orientadas con sus lados largos paralelos a los lados largos del módulo solar. Las superceldas también pueden tener longitudes aproximadamente iguales a la longitud de los lados de un módulo solar cuadrado, y estar orientadas con sus lados largos paralelos a un lado del módulo solar. Además, un módulo solar puede incluir un número mayor o menor de dichas superceldas de longitud lateral que las que se muestran en este ejemplo.

15 La figura 5B también muestra el aspecto del módulo solar 200 de la figura 5A cuando no hay huecos entre superceldas contiguas en las filas de superceldas del módulo solar 200. También se puede usar cualquier otra disposición adecuada de superceldas 100 en un módulo solar.

20 Esta divulgación es ilustrativa y no limitante. Otras modificaciones resultarán evidentes para un experto en la técnica en vista de esta divulgación y se pretende que estén dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un módulo solar, que comprende:
- 5 una pluralidad de superceldas (100) dispuestas en filas físicamente paralelas, comprendiendo cada supercelda una pluralidad de celdas solares dispuestas con bordes opuestos de celdas solares contiguas superpuestos y unidos entre sí de forma conductora para conectar eléctricamente las celdas solares de una respectiva supercelda en serie,
- 10 en el que las superceldas (100) están conectadas eléctricamente en paralelo,
- estando cada supercelda segmentada eléctricamente en una pluralidad de segmentos de supercelda mediante interconectores de toma oculta (3400) en localizaciones intermedias a lo largo de una supercelda al tiempo que se mantiene una supercelda físicamente continua,
- 15 interconectándose eléctricamente dichos interconectores de toma oculta (3400) en segmentos de supercelda contiguos paralelos formando de este modo grupos de segmentos de supercelda conectados en paralelo,
- en el que cada interconector (3400) abarca un hueco entre dos superceldas en filas contiguas y está unido de forma conductora a al menos una placa de contacto de toma oculta (3320, 3325) en la superficie posterior de una supercelda
- 20 y a al menos otra placa de contacto de toma oculta (3320, 3325) en la superficie posterior de la otra supercelda, y
- en el que los diodos de derivación (1300A-1300C) están localizados a lo largo de la línea central del módulo solar, en un hueco (210) entre las primera y segunda superceldas contiguas y dentro de plano con las primera y segunda superceldas, estando conectado cada segmento de supercelda en paralelo con un diodo de derivación (1300A-1300C)
- 25 correspondiente
- en el que un conductor eléctrico discurre a lo largo de la línea central dentro de plano con las primera y segunda superceldas y se conecta a cada diodo de derivación en una región entre los primer y segundo segmento de superceldas.
- 30
2. El módulo solar de la reivindicación 1, en el que dichos interconectores de toma oculta discurren perpendiculares al conductor eléctrico.
3. El módulo solar de la reivindicación 1, en el que:
- 35 el módulo solar es rectangular con dos lados cortos paralelos y dos lados largos paralelos; y
- la línea central del módulo solar discurre paralela a los lados largos del módulo solar.

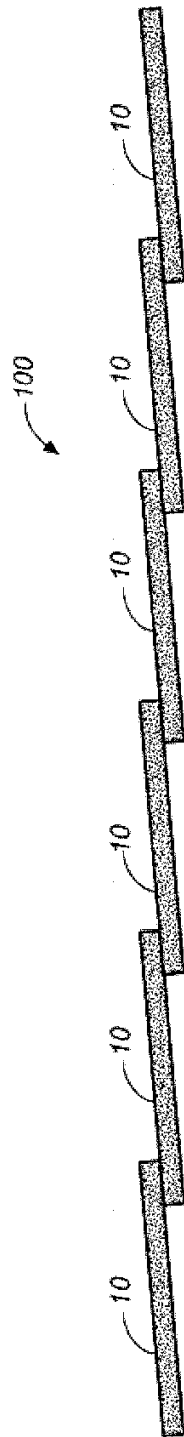


FIG. 1

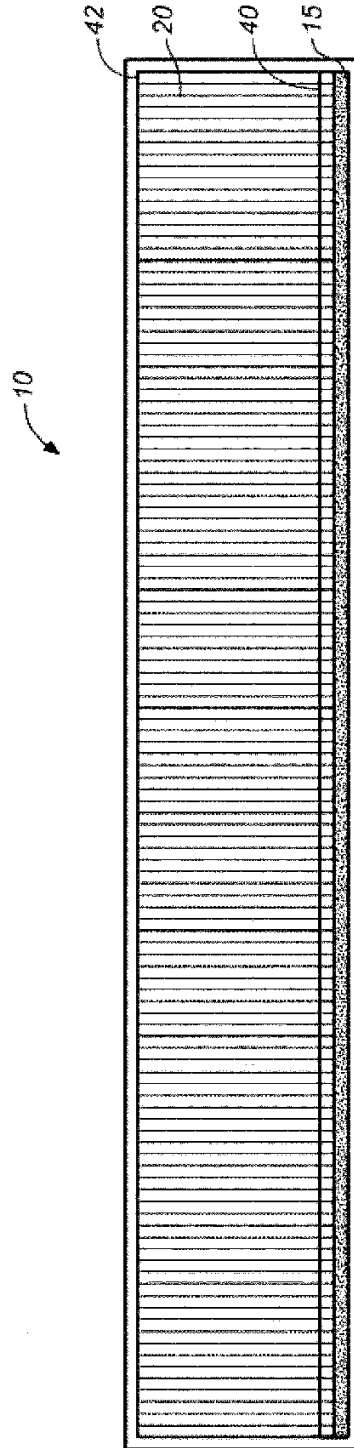
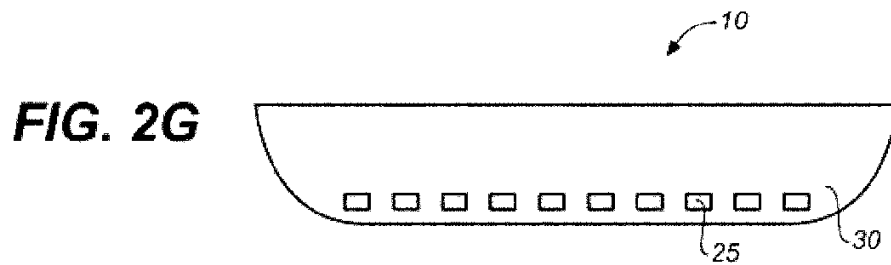
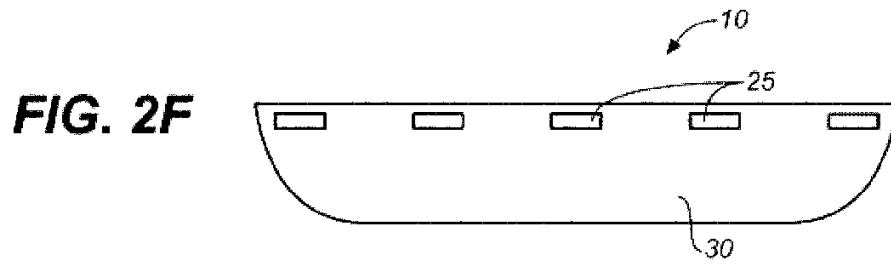
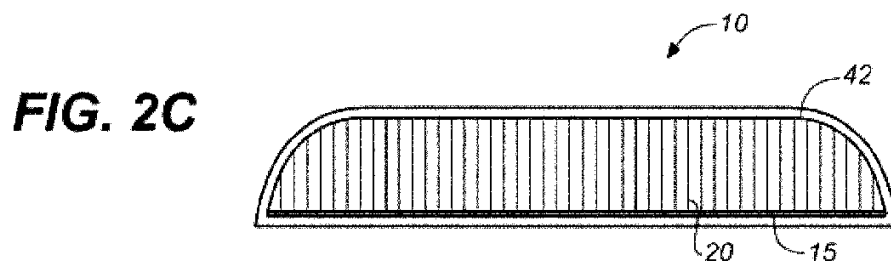
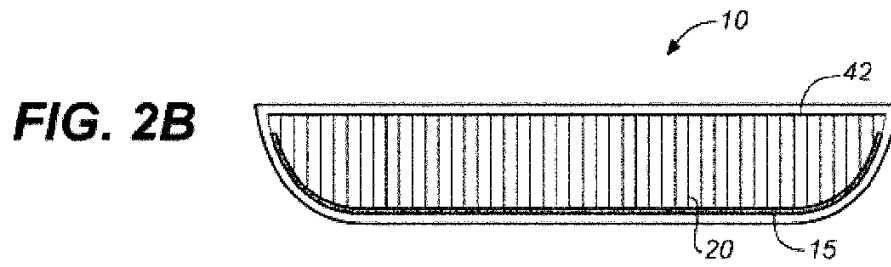


FIG. 2A



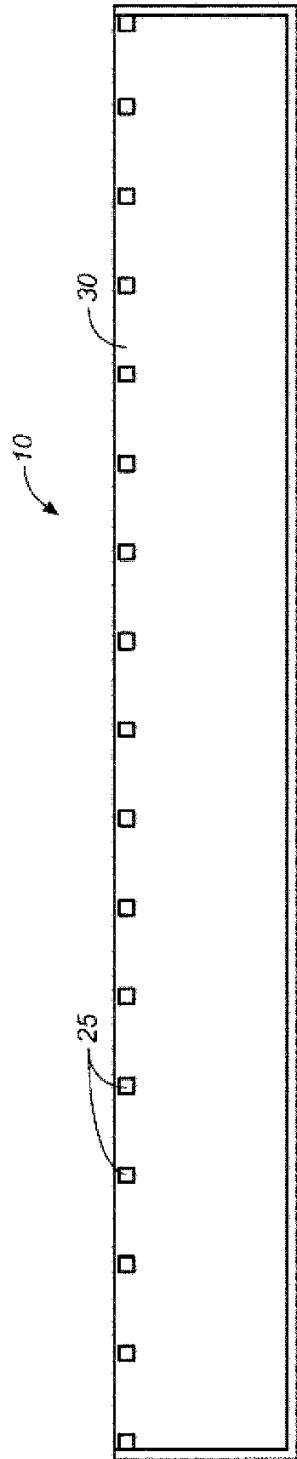


FIG. 2D

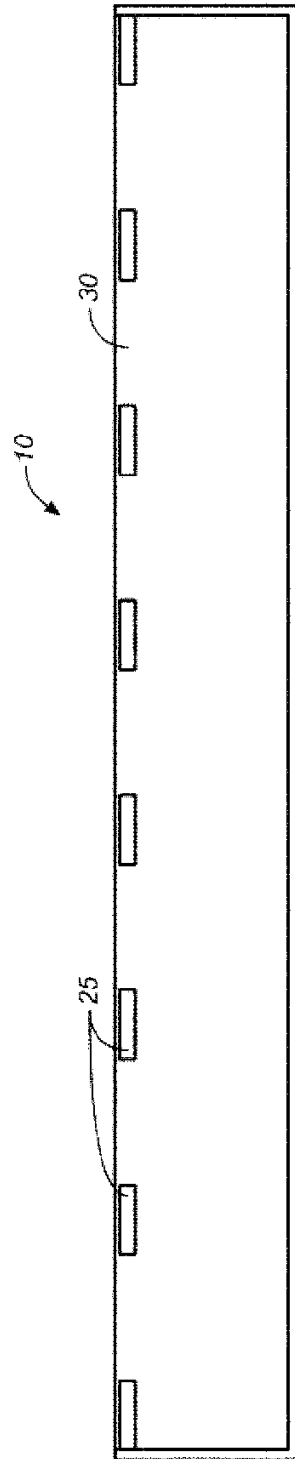


FIG. 2E

FIG. 2H

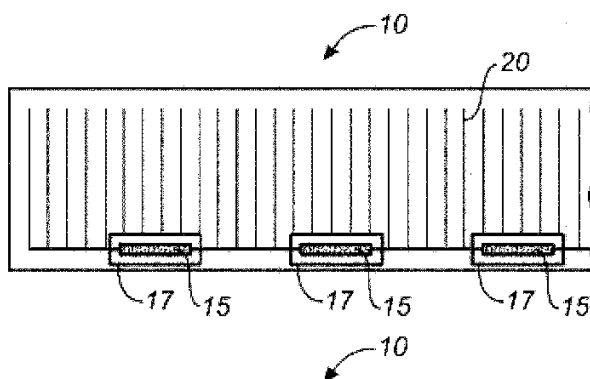


FIG. 2I

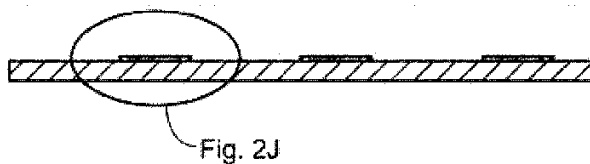


FIG. 2J

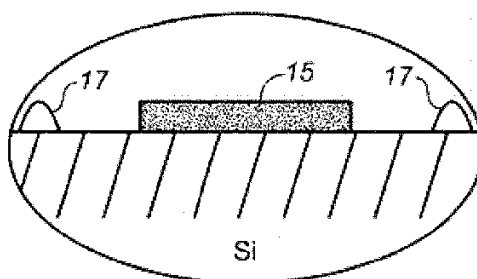
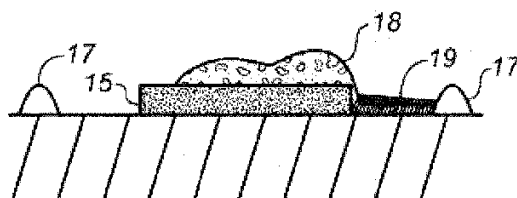


FIG. 2K



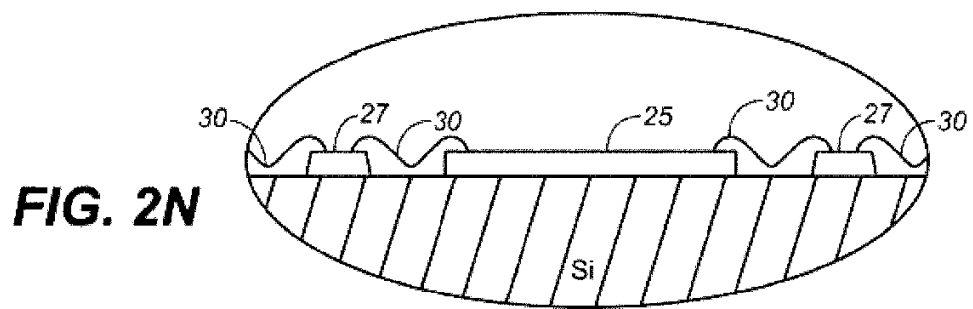
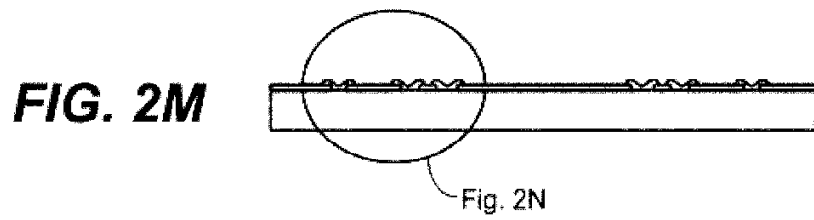
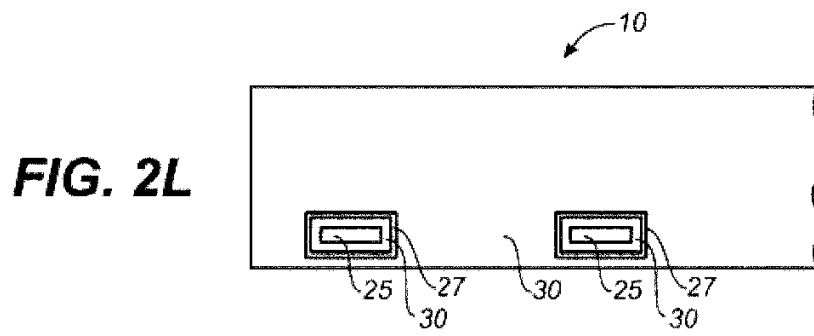


FIG. 20

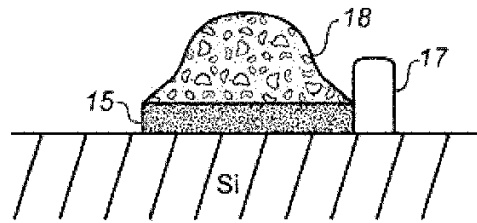


FIG. 2P

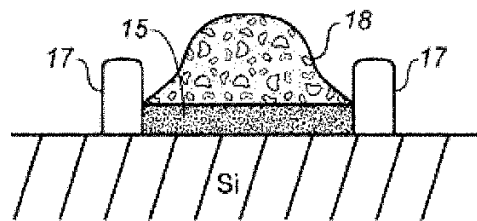


FIG. 2Q

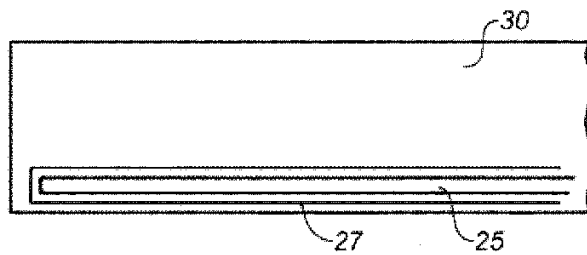
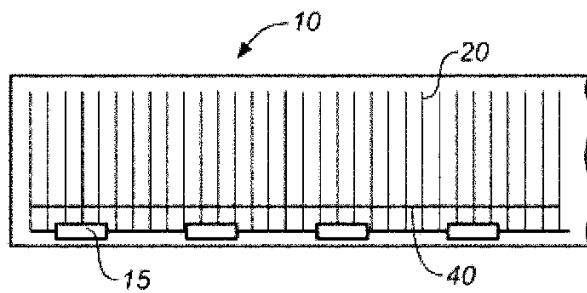


FIG. 2R



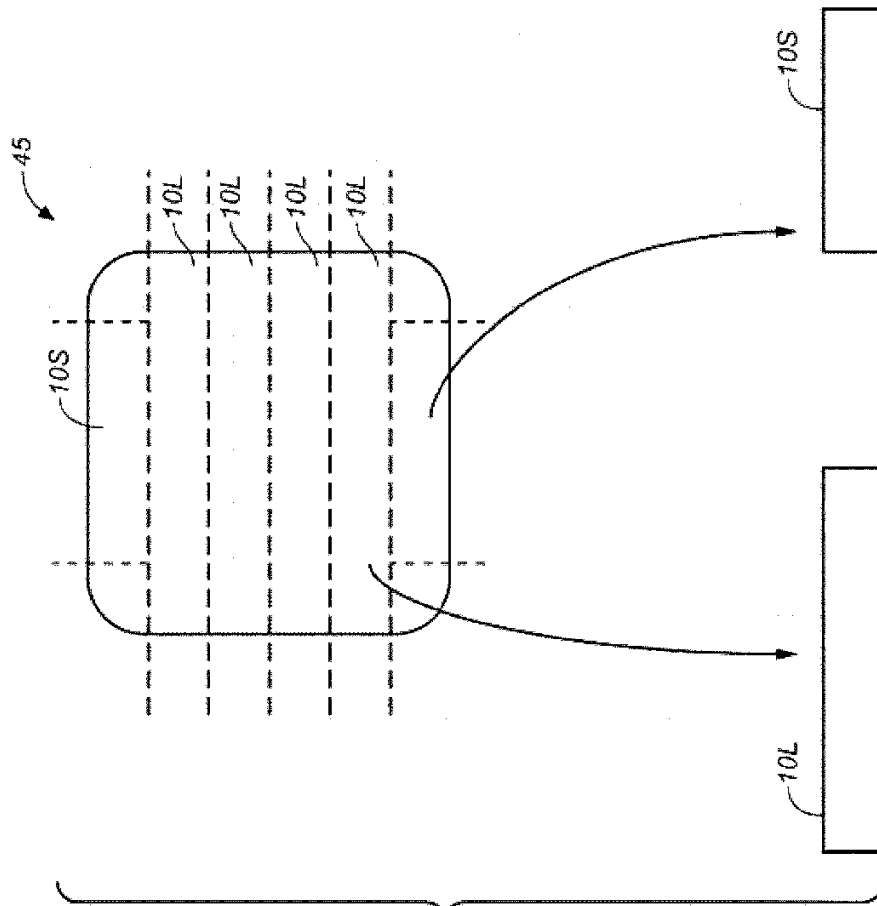


FIG. 3A

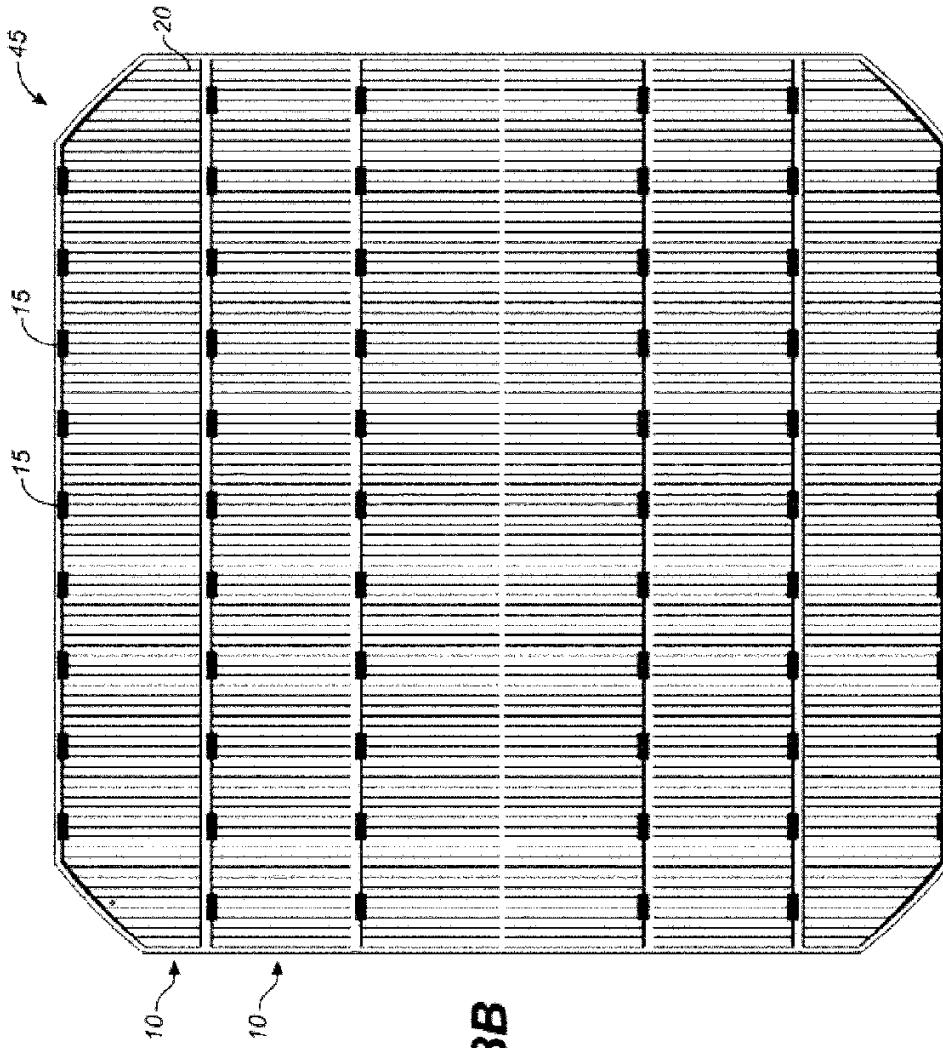


FIG. 3B

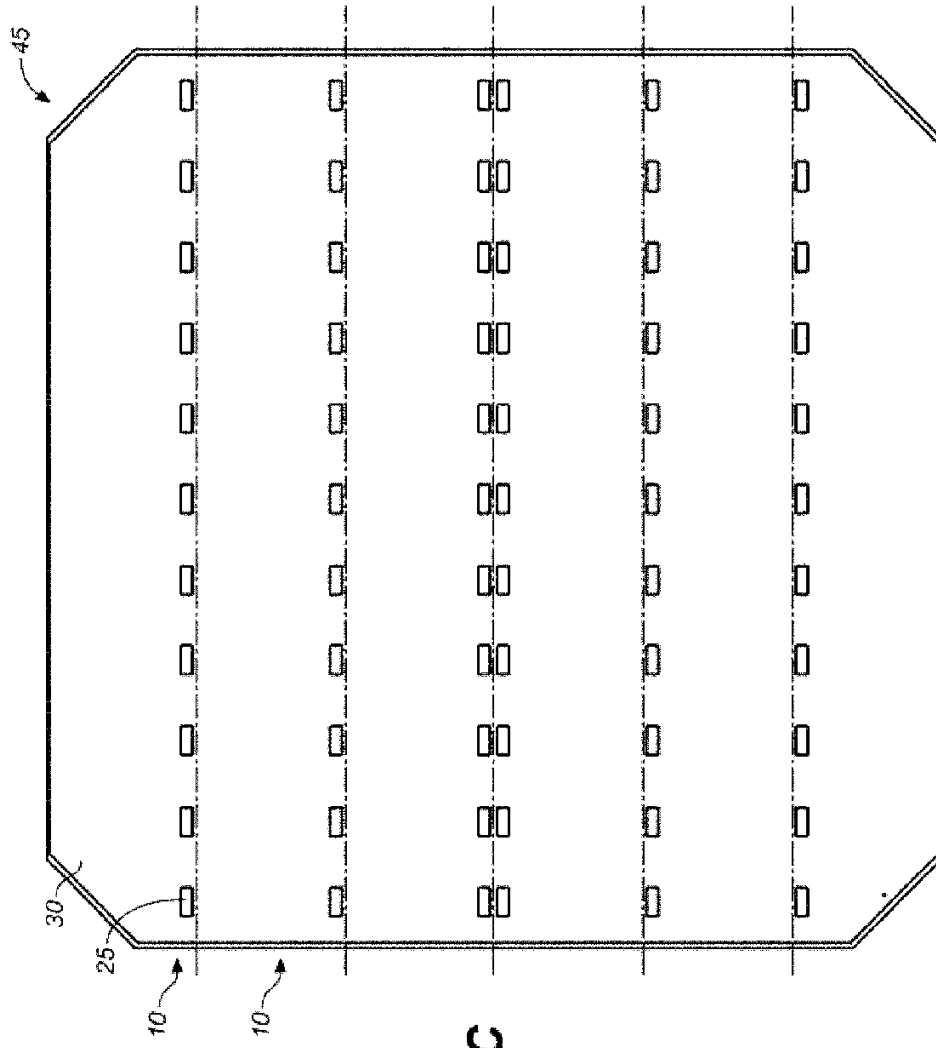


FIG. 3C

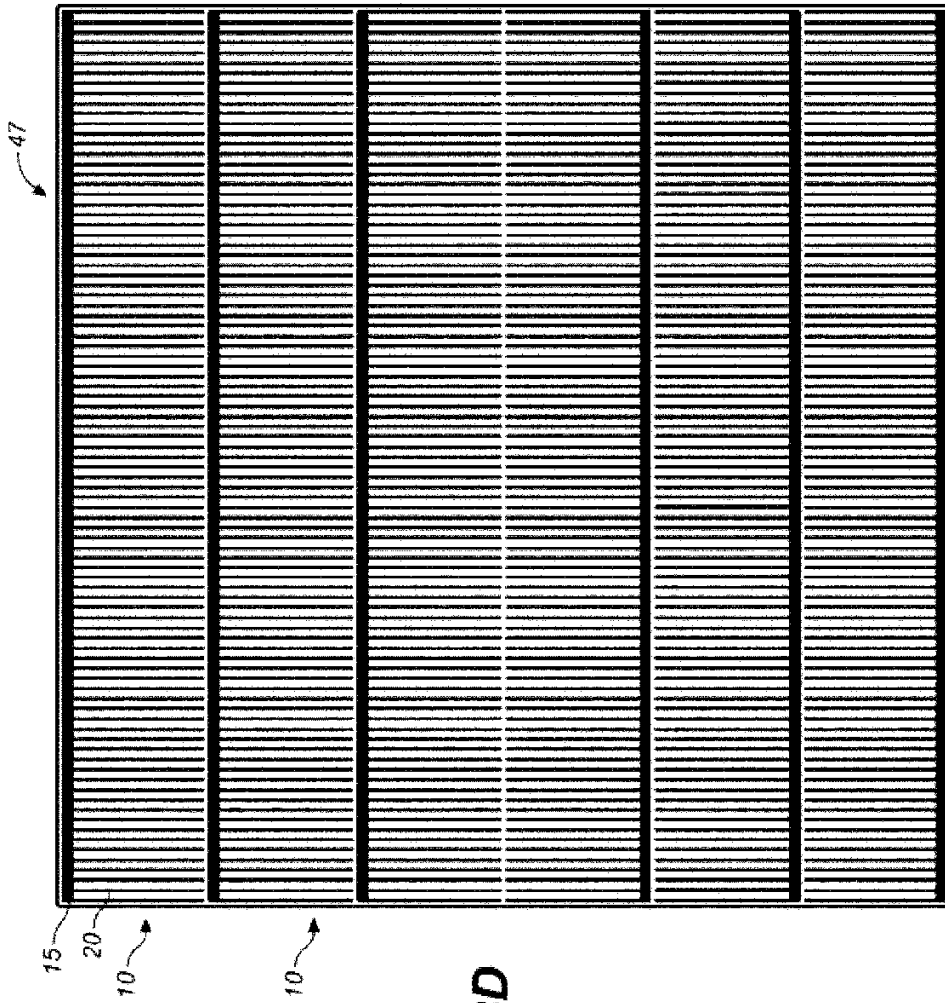


FIG. 3D

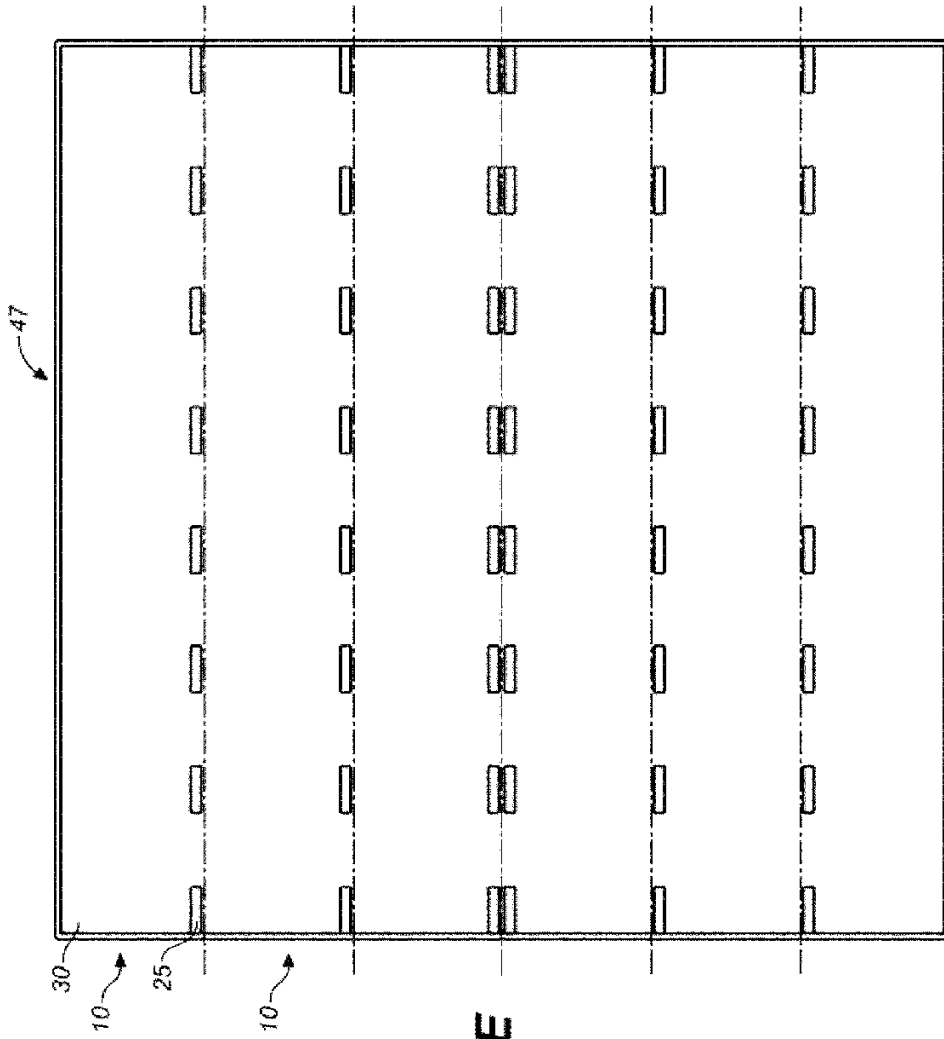


FIG. 3E

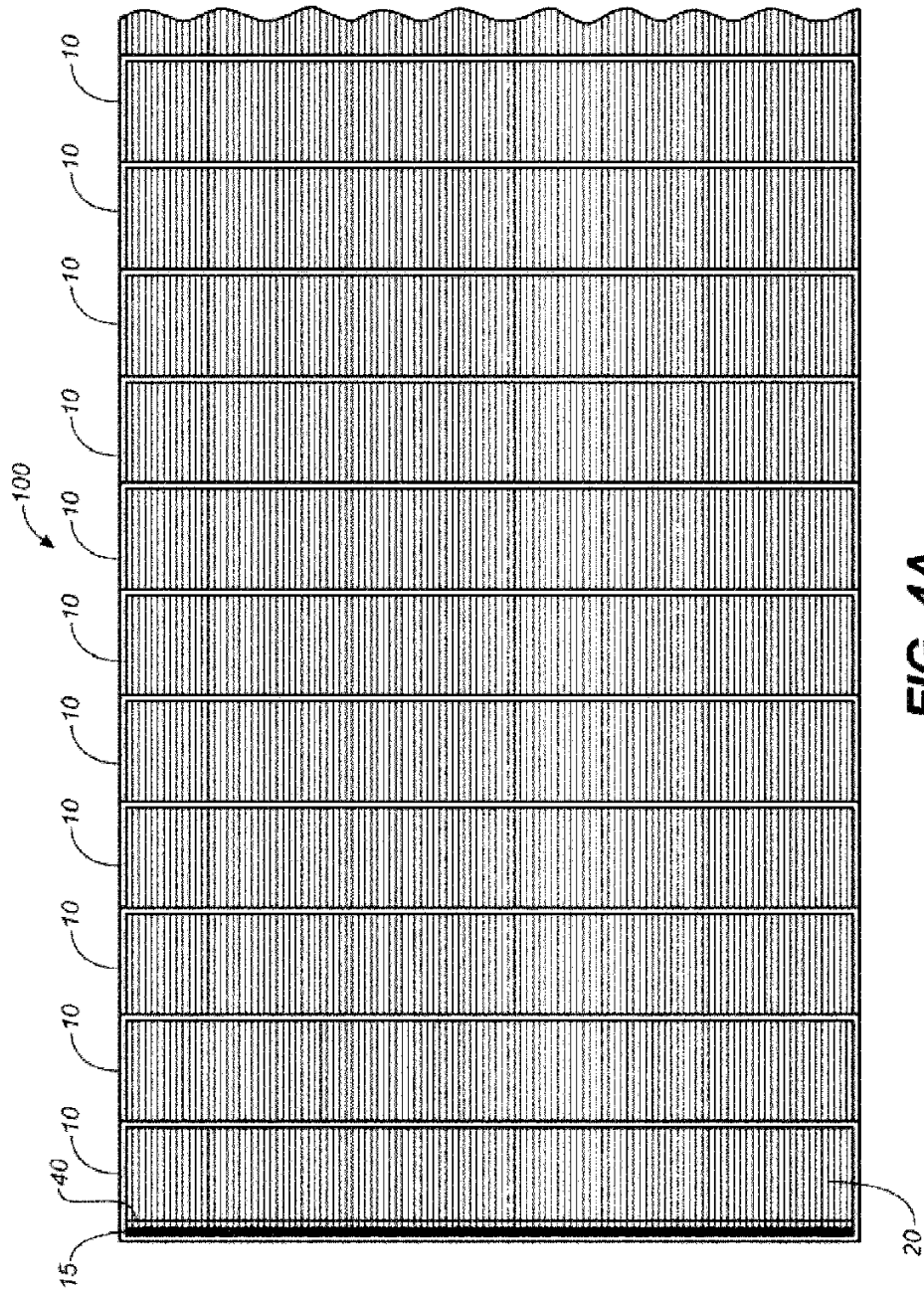


FIG. 4A

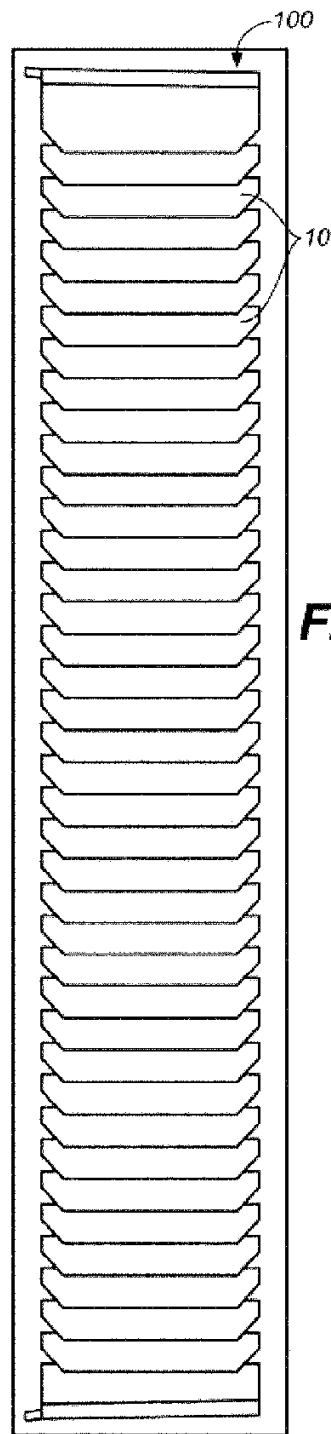
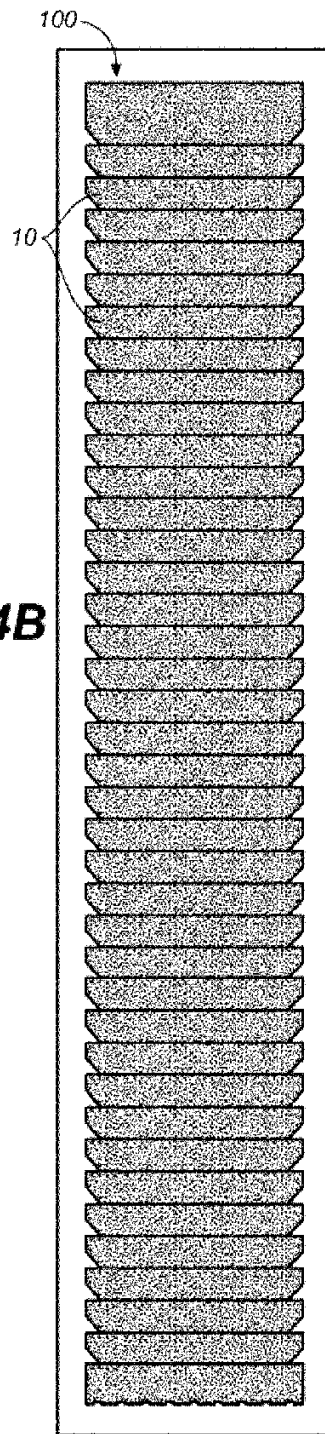


FIG. 5B

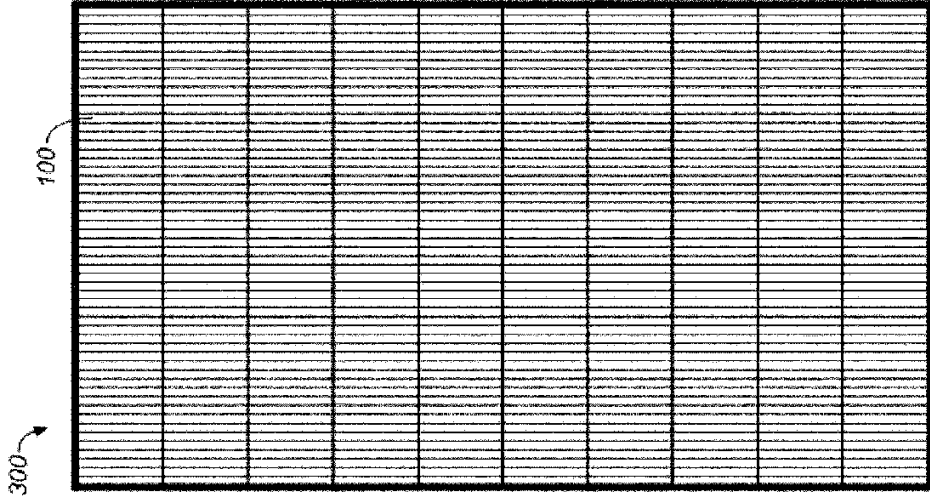
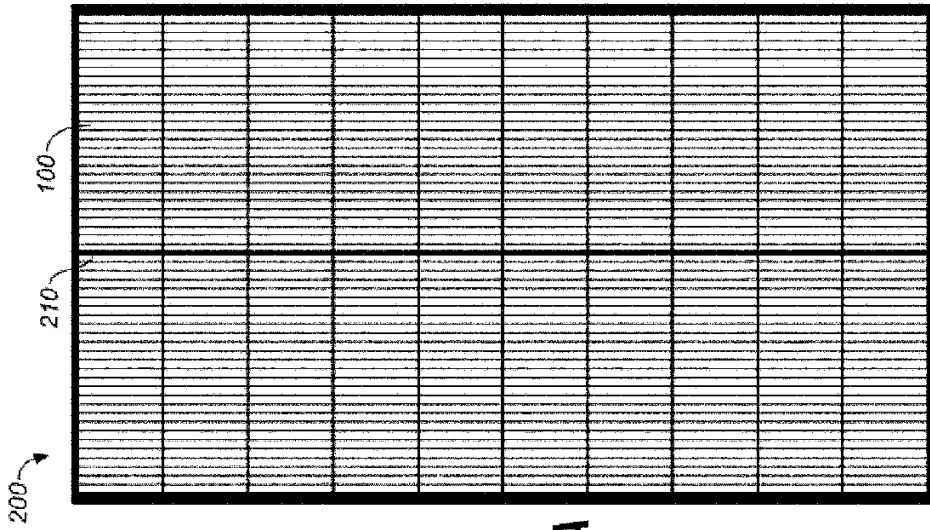


FIG. 5A



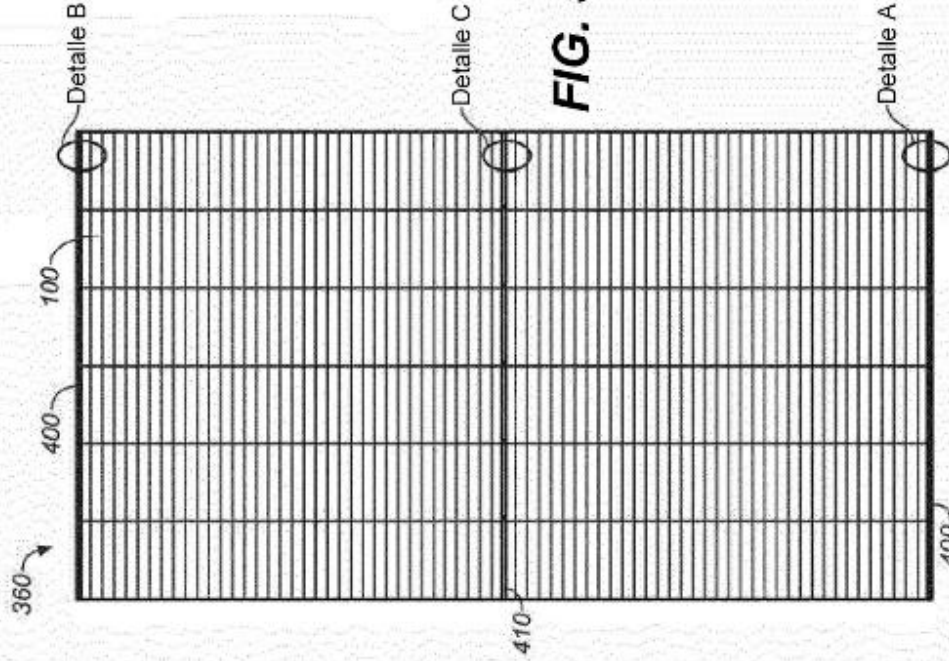


FIG. 5D

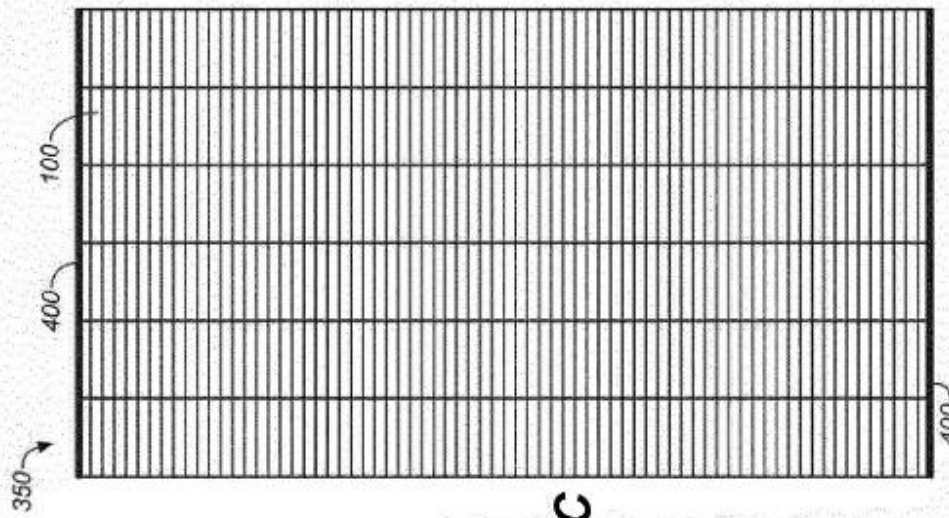
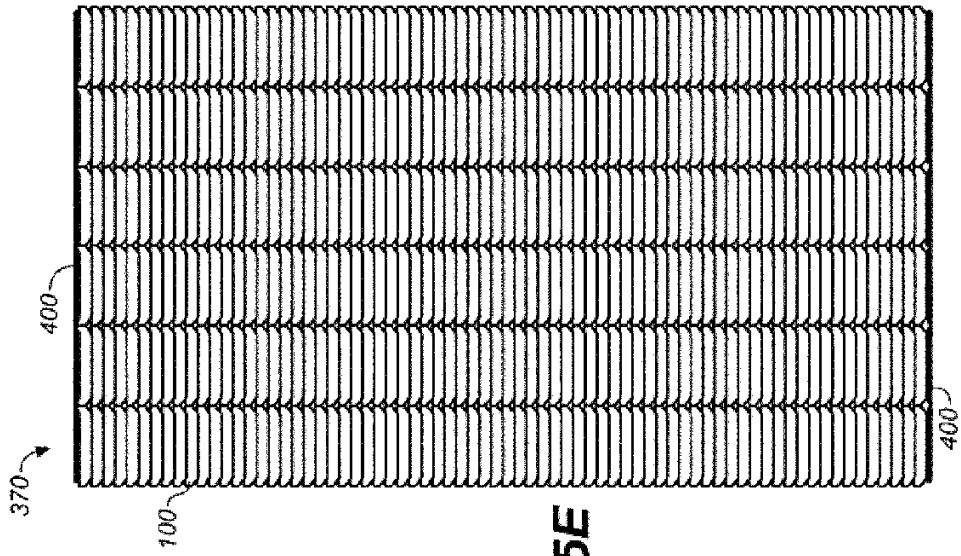
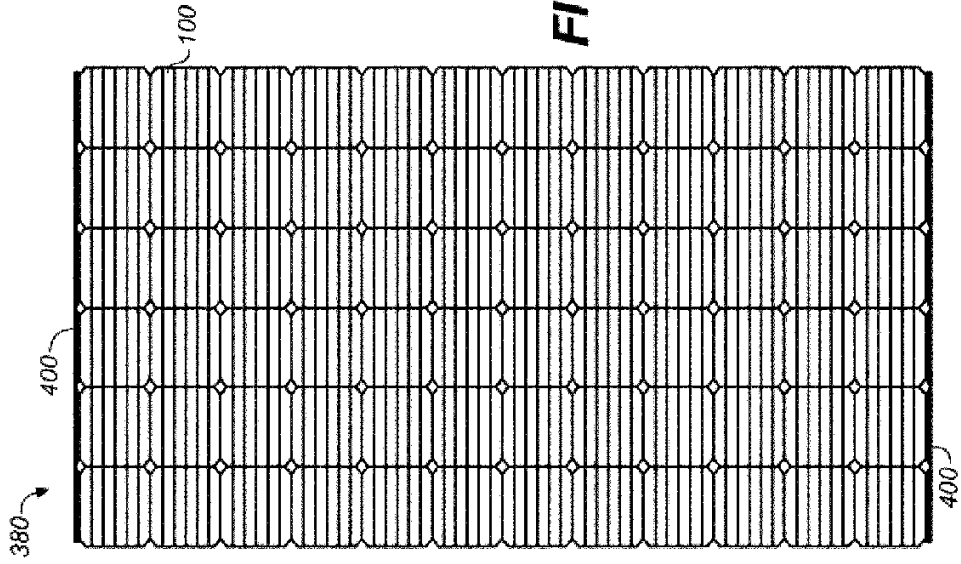


FIG. 5C



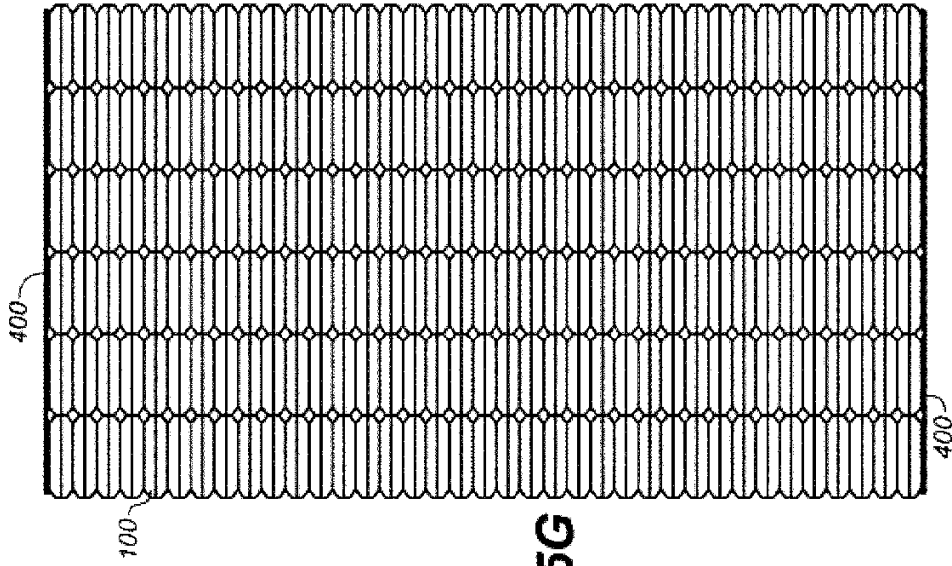


FIG. 5G

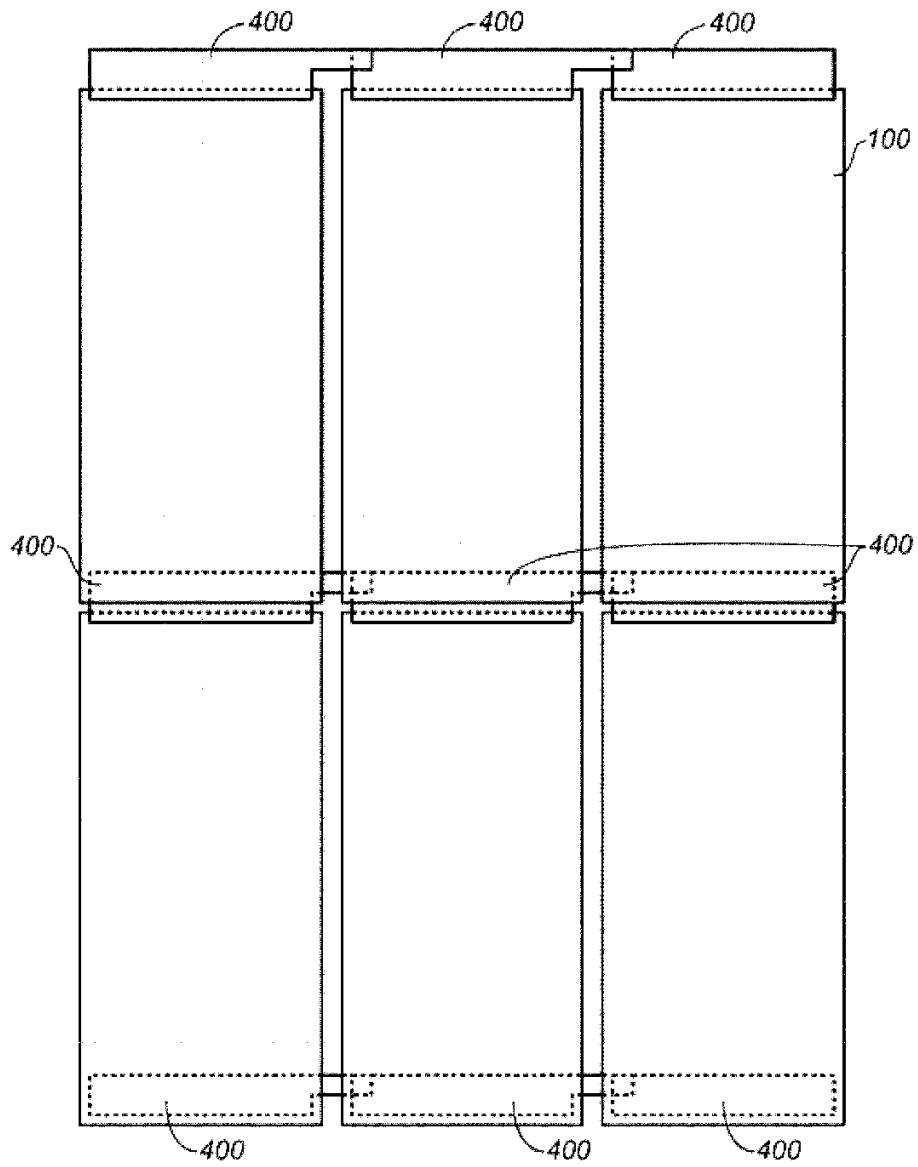
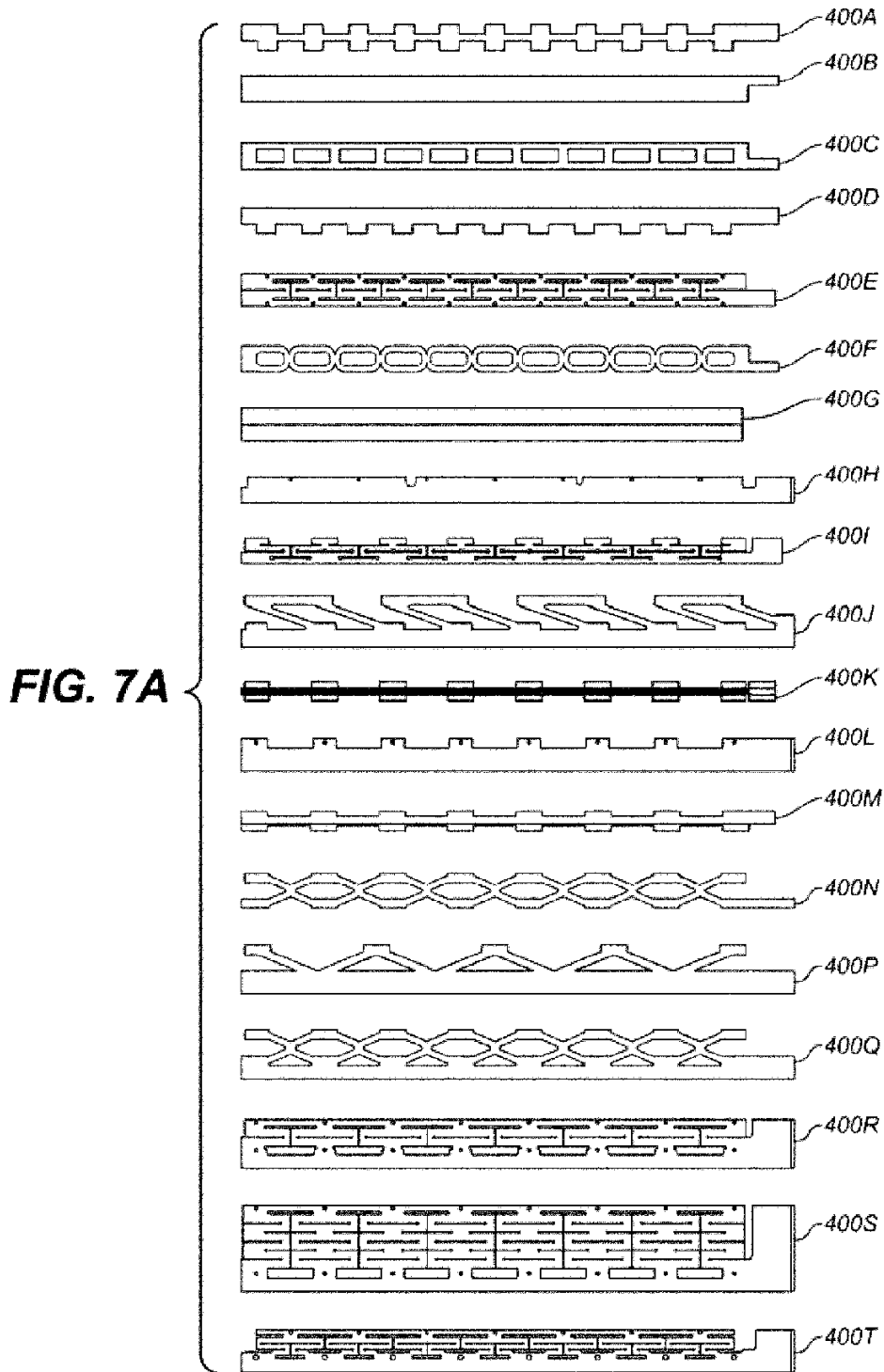
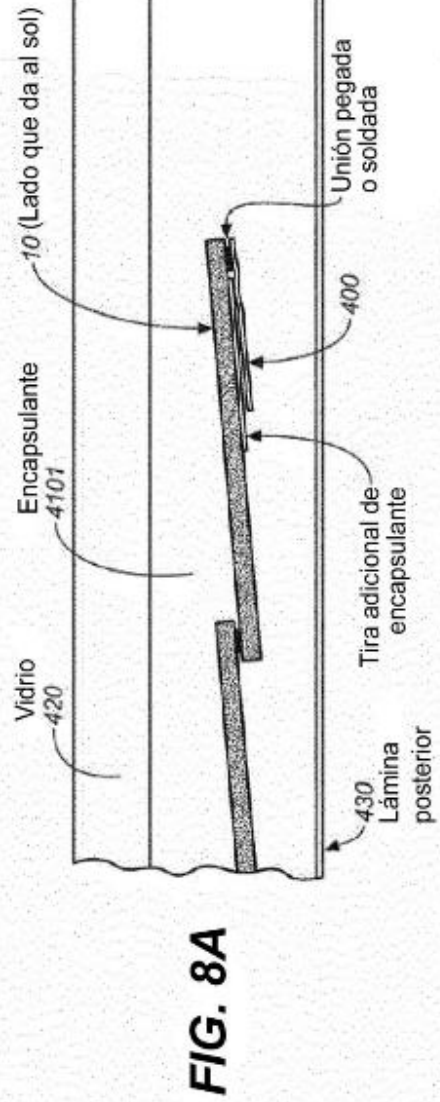


FIG. 6





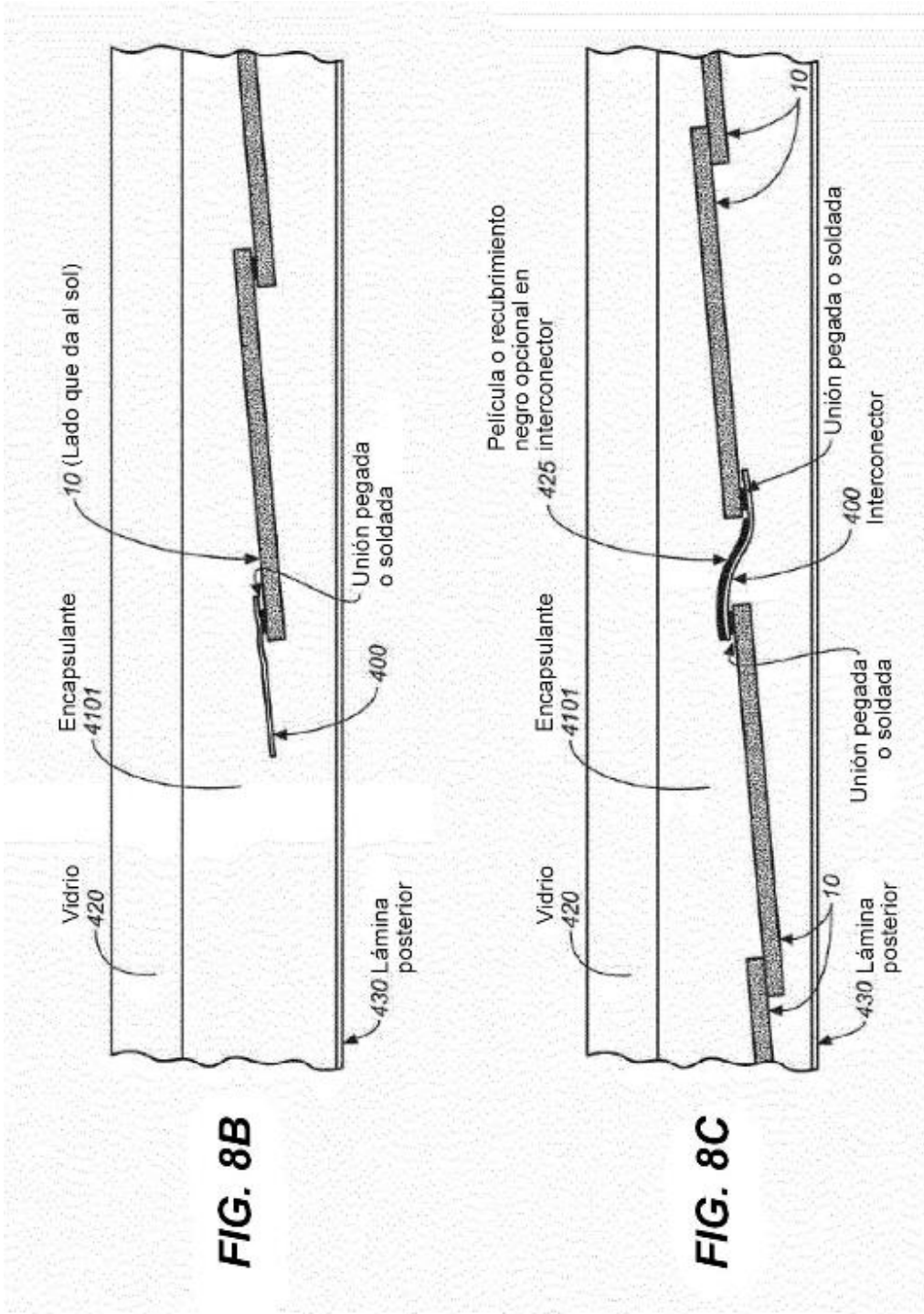


FIG. 8D

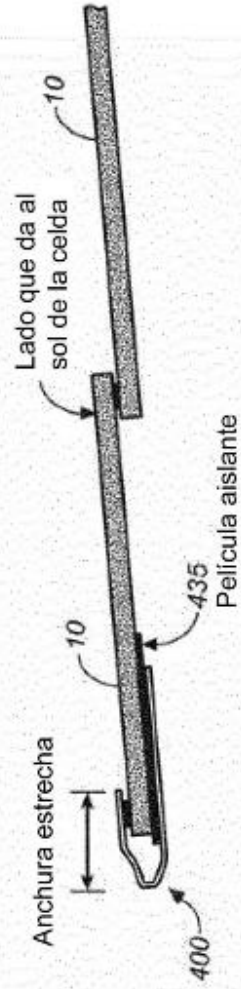
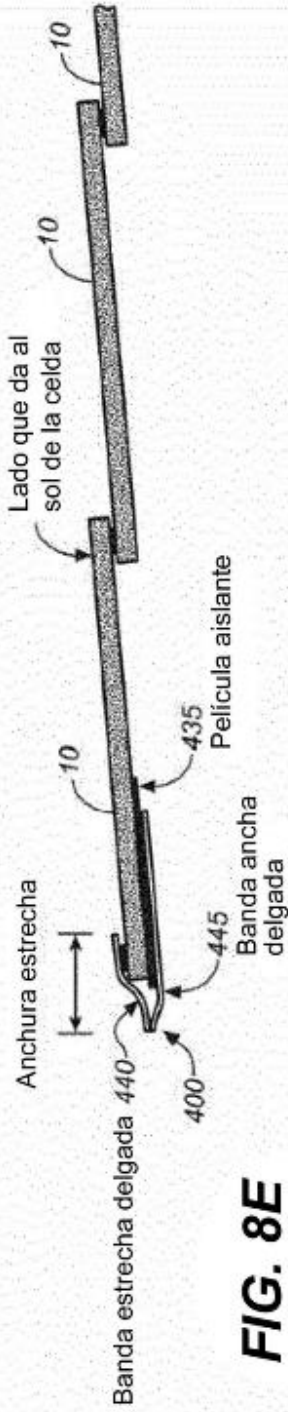
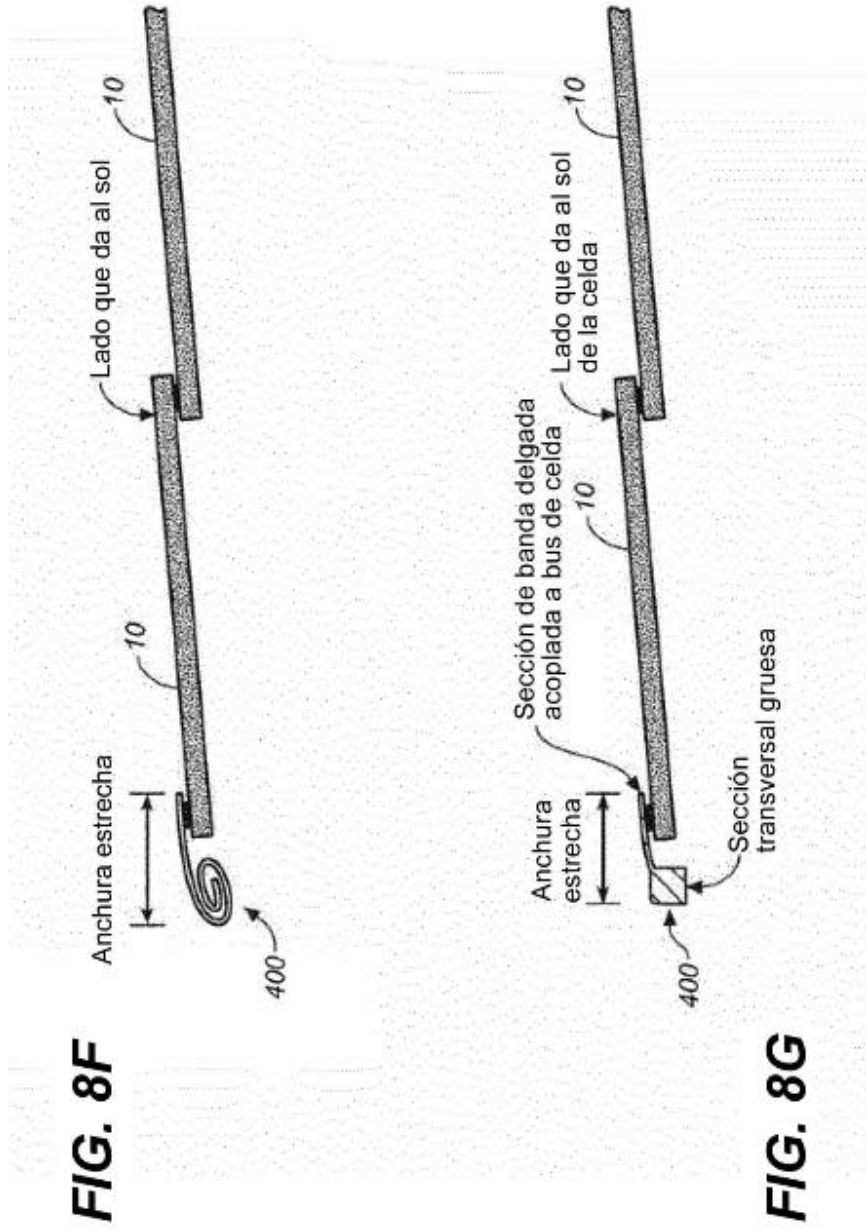


FIG. 8E





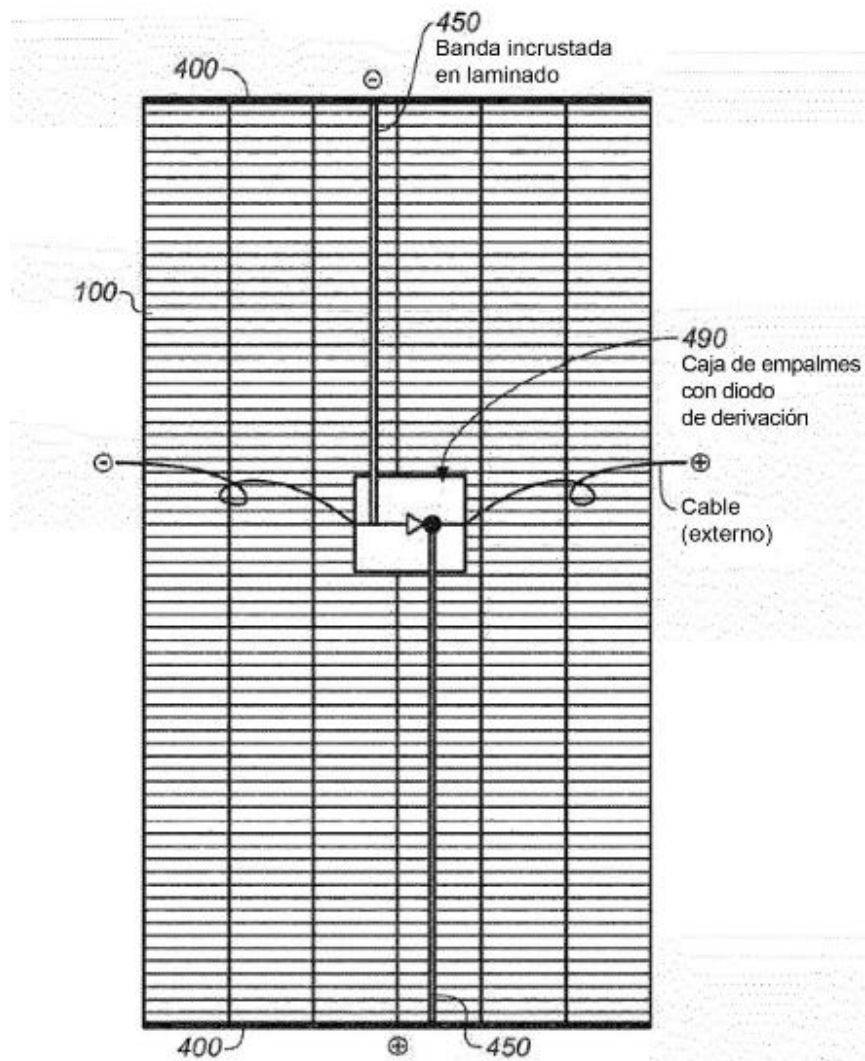


FIG. 9A

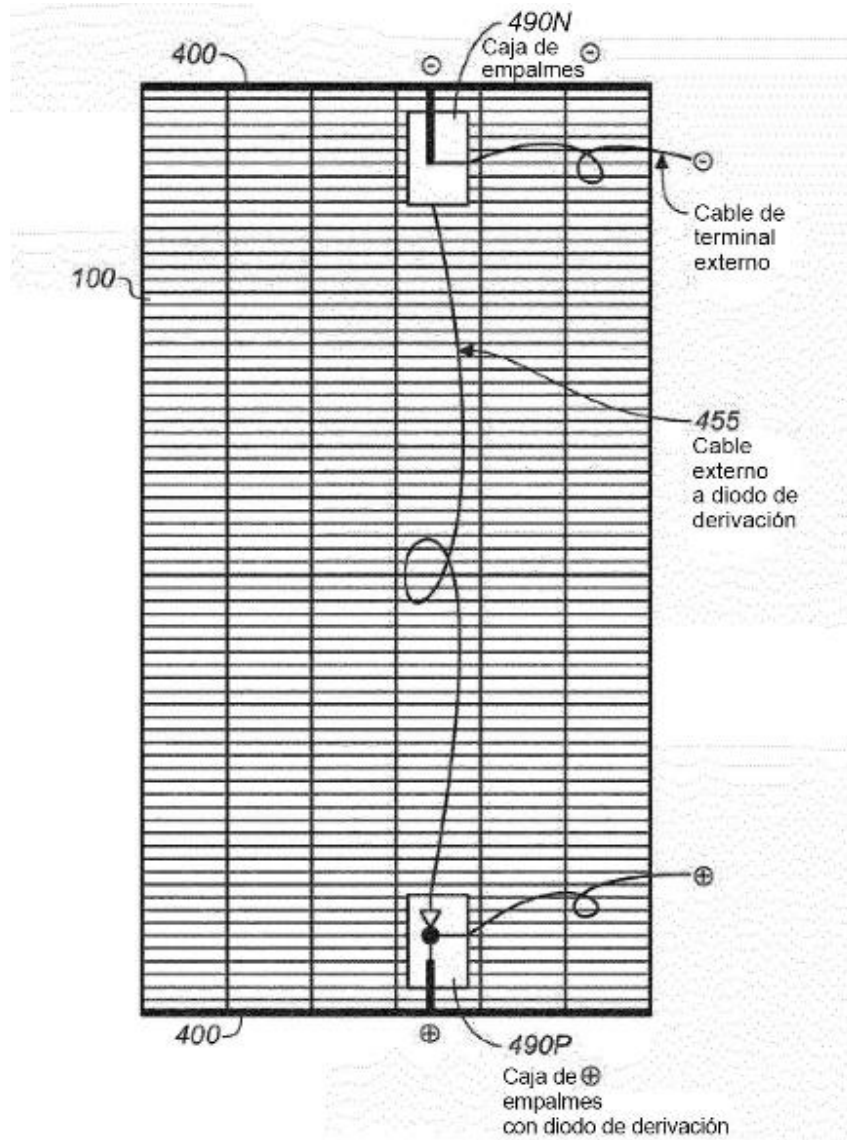


FIG. 9B

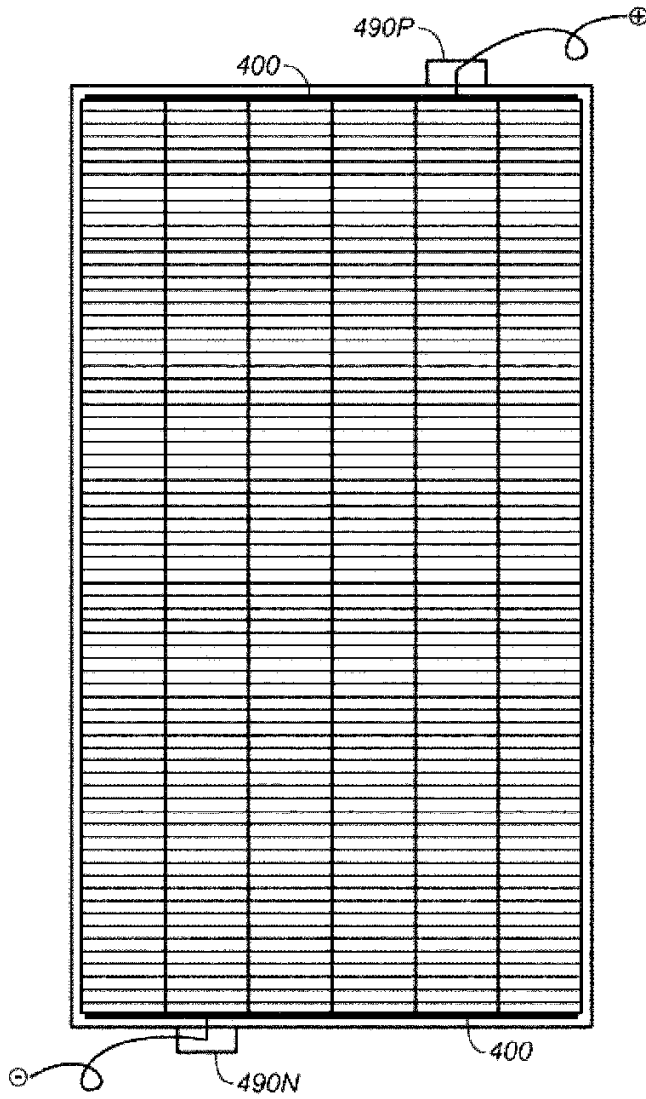


FIG. 9C



FIG. 9D

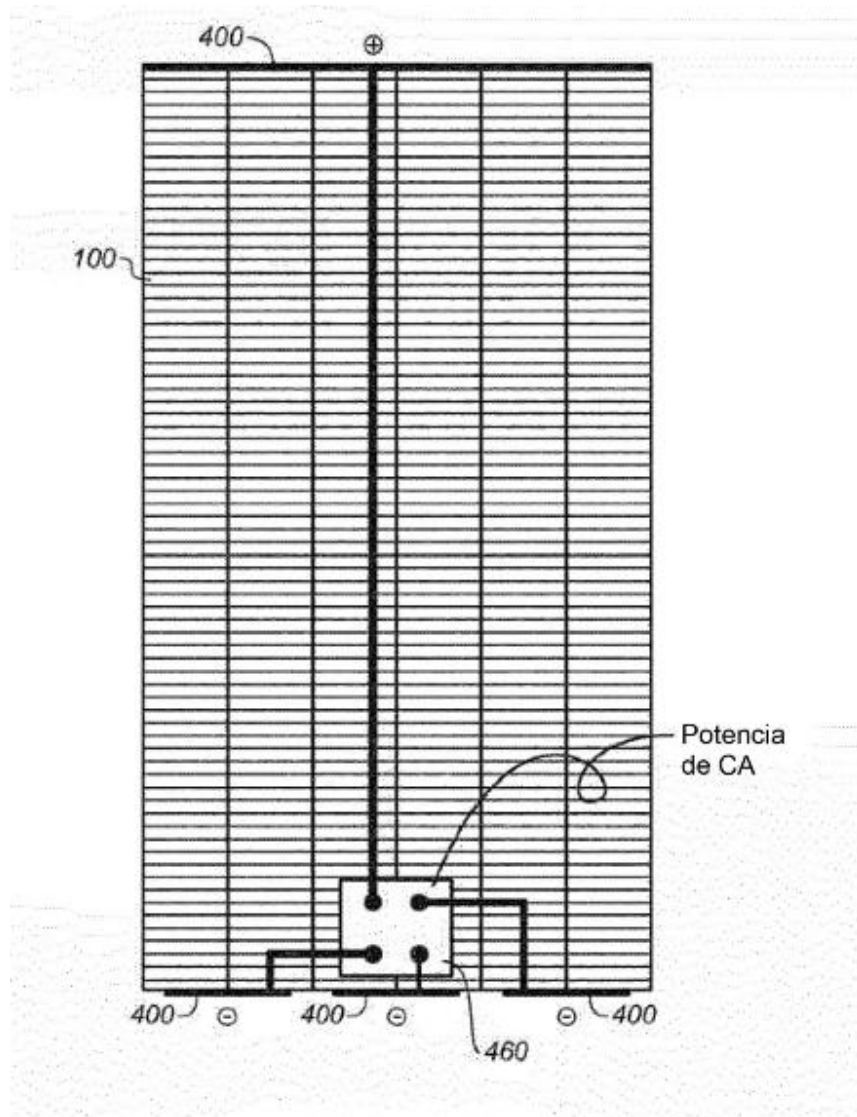


FIG. 9E

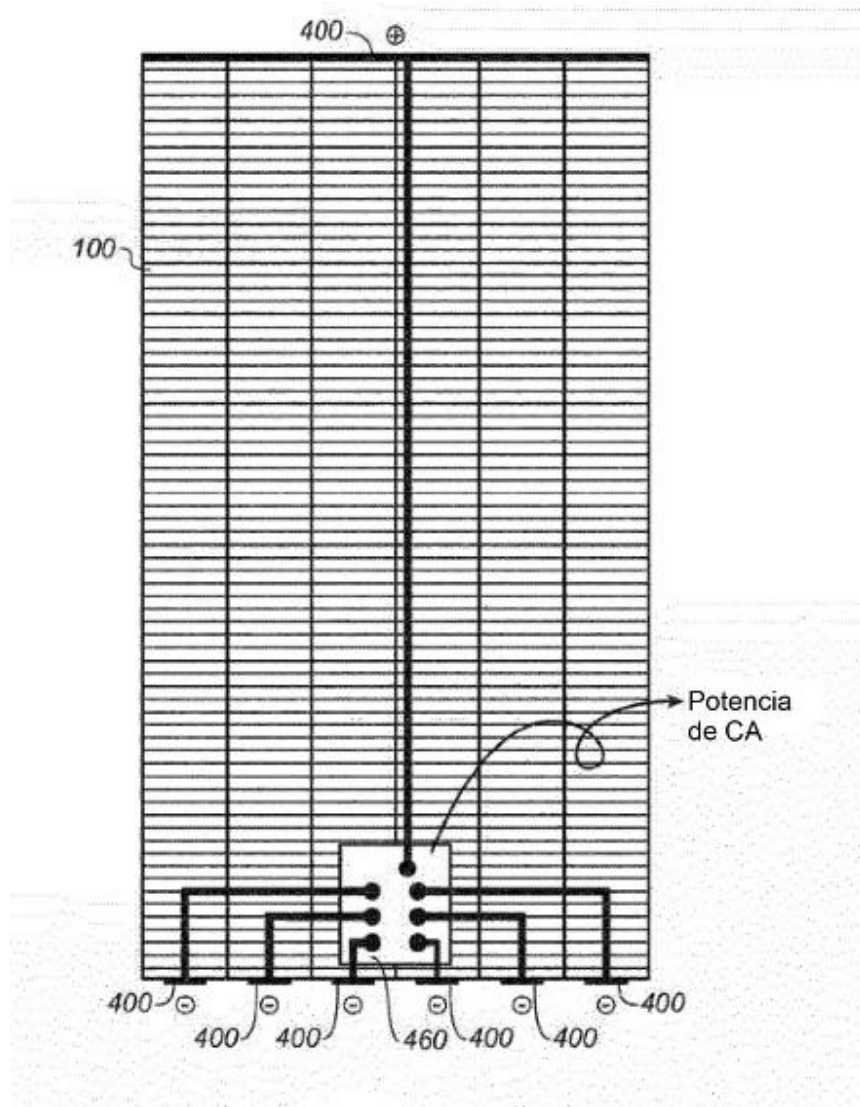


FIG. 9F

FIG. 9G

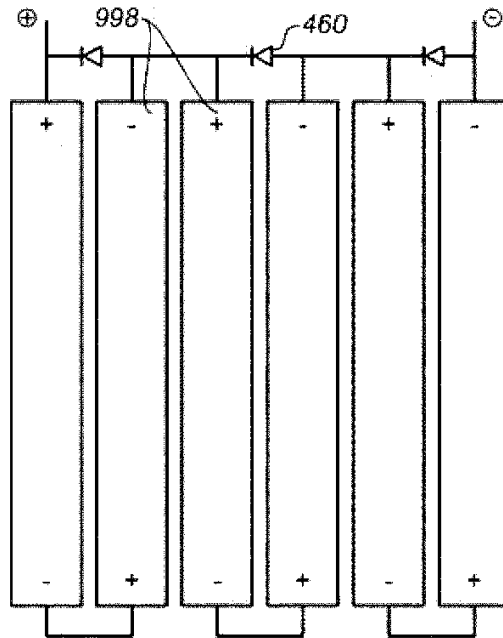
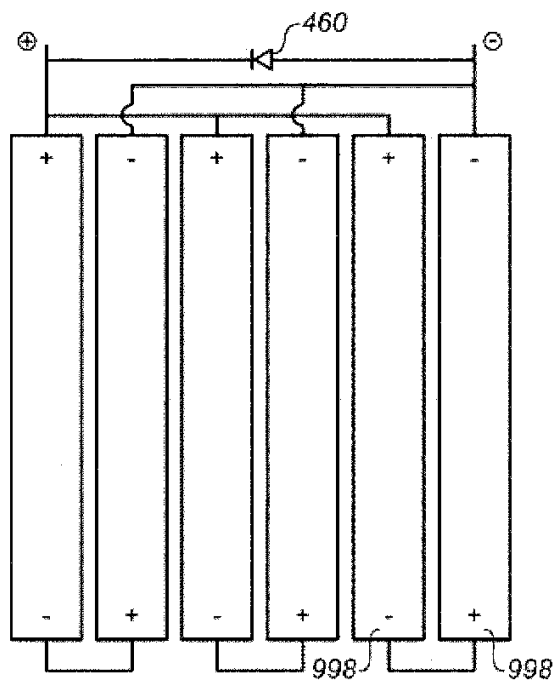


FIG. 9H



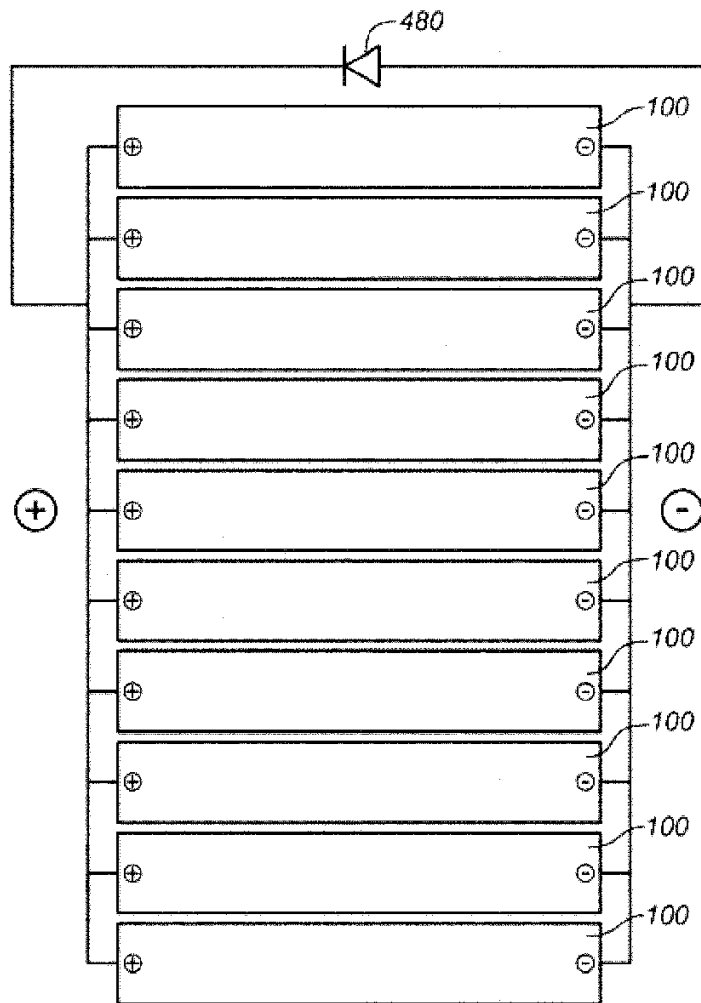


FIG. 10A

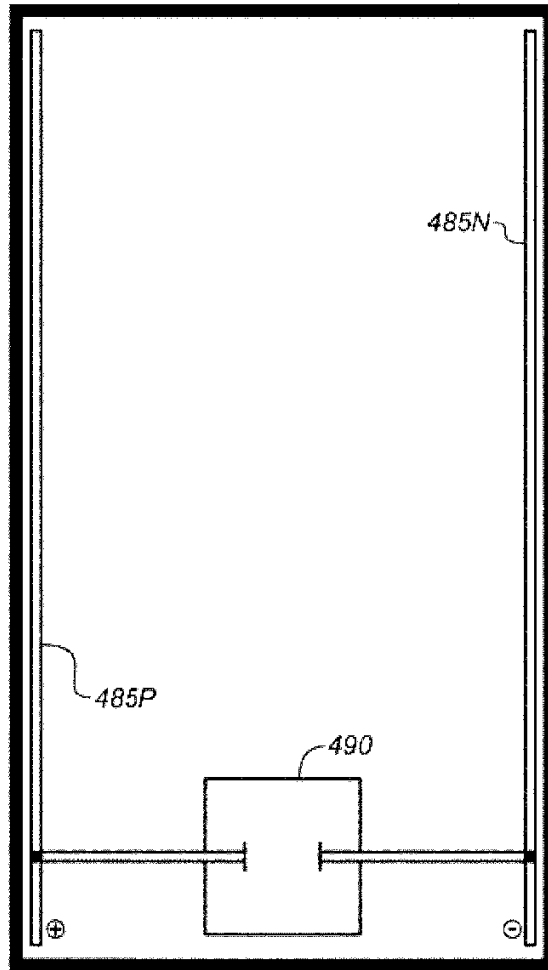


FIG. 10B-1

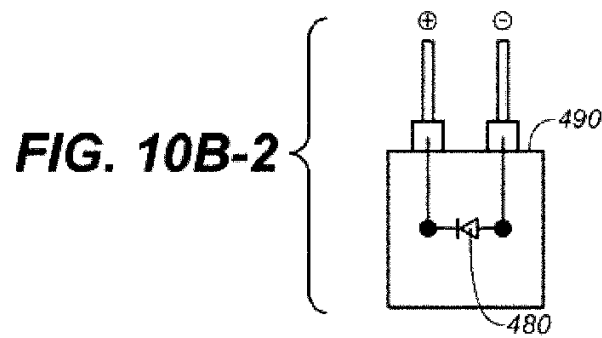


FIG. 10B-2

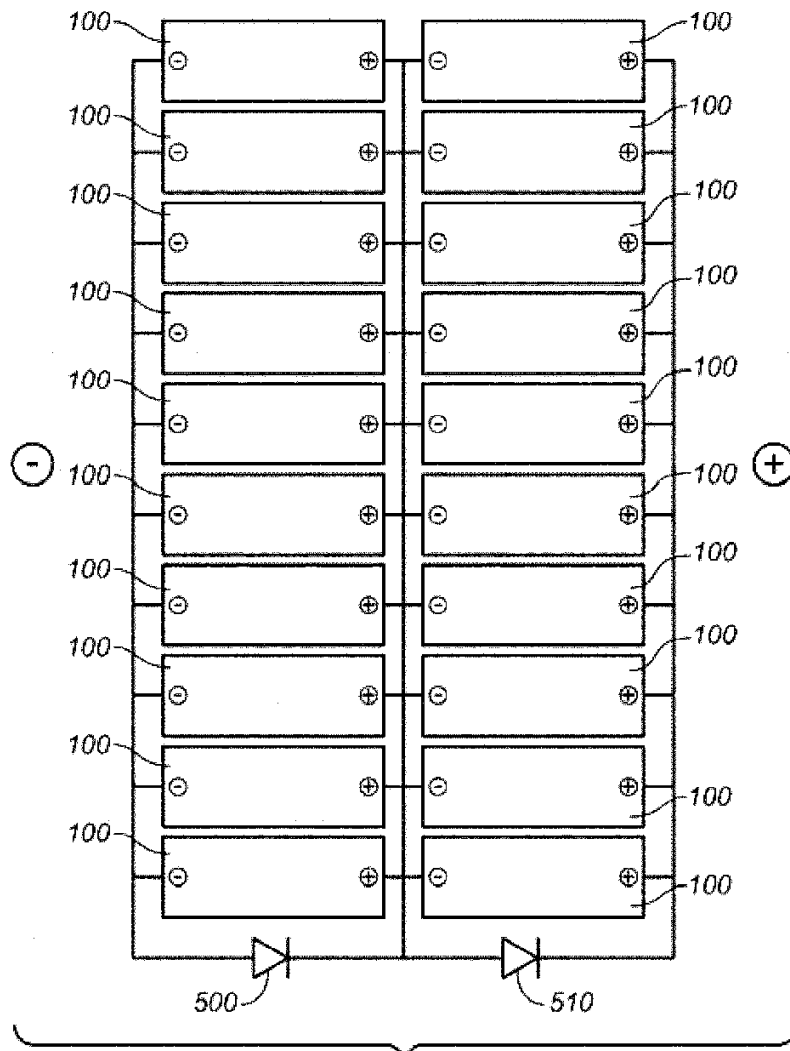


FIG. 11A

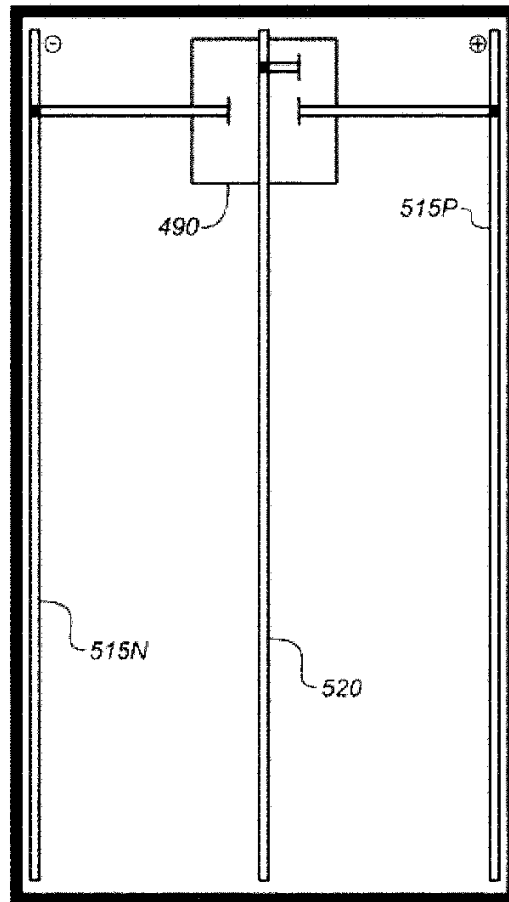


FIG. 11B-1

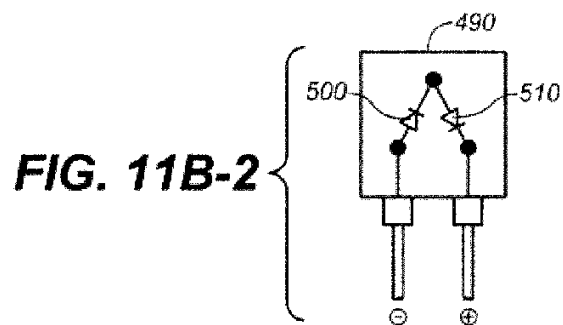
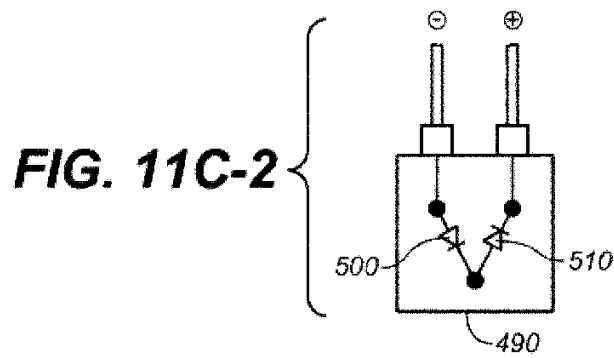
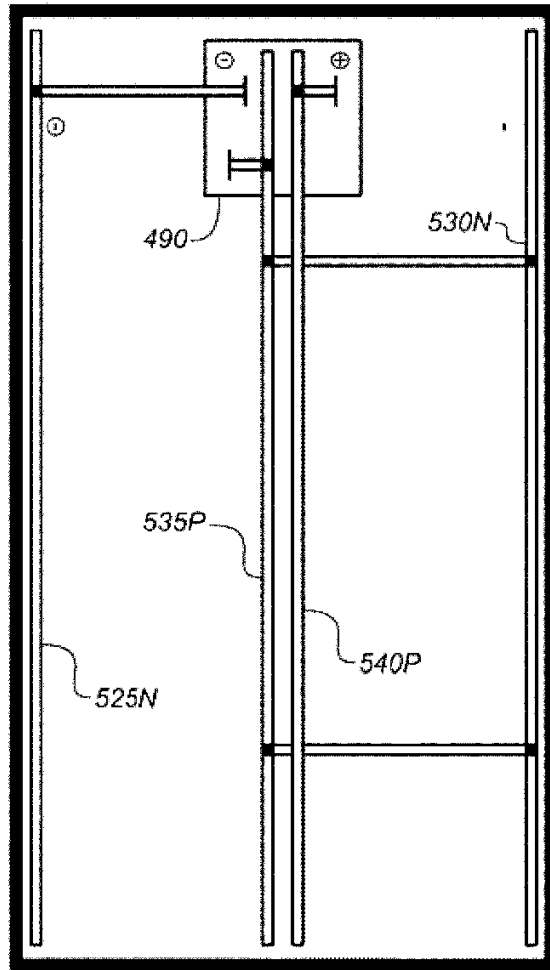


FIG. 11B-2



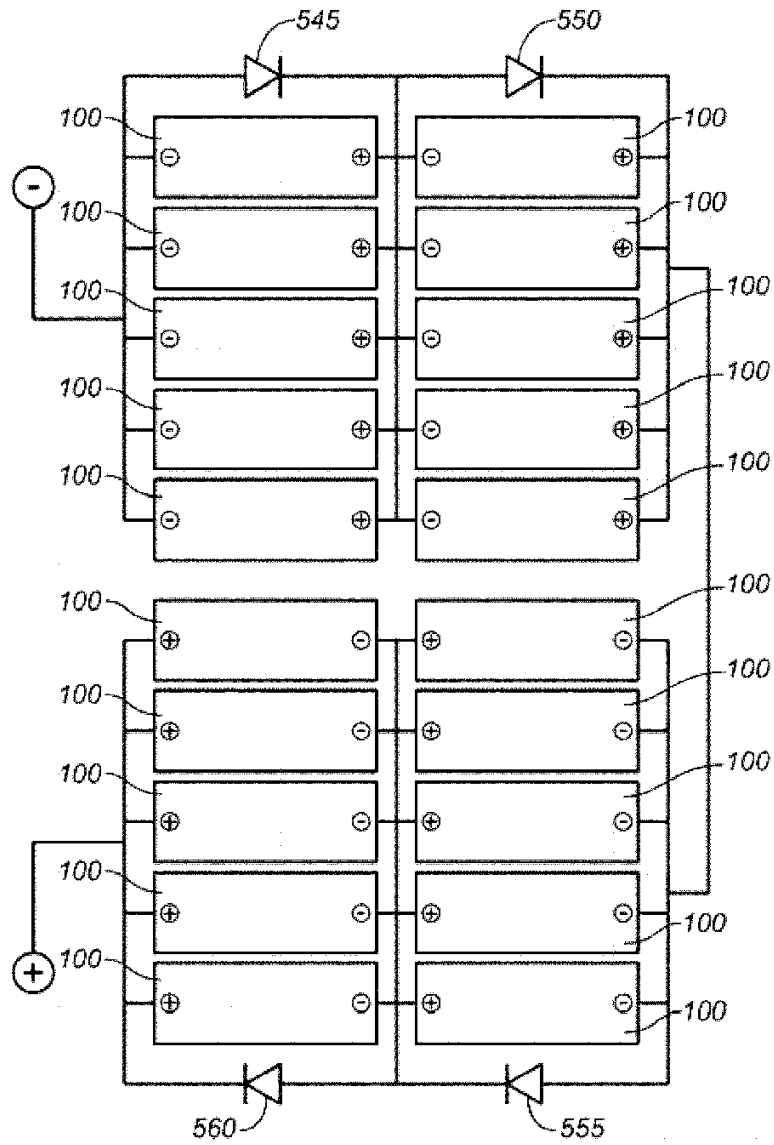


FIG. 12A

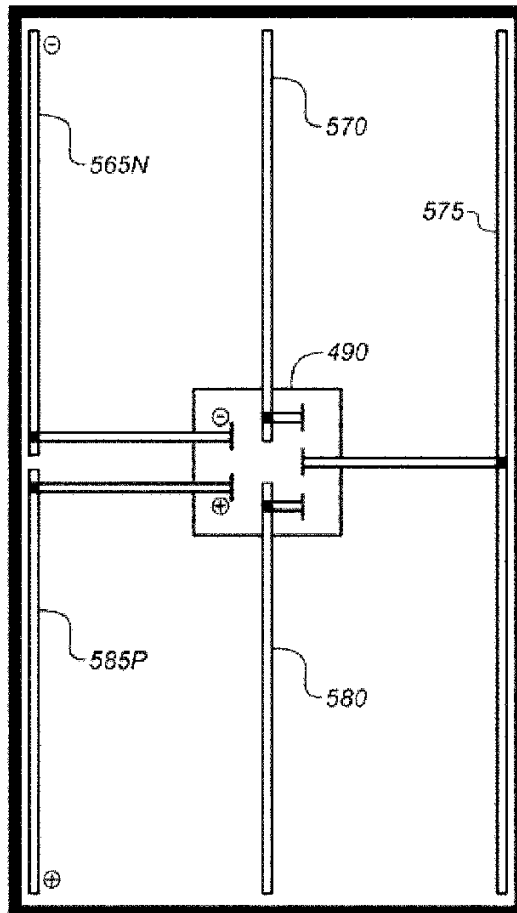


FIG. 12B-1

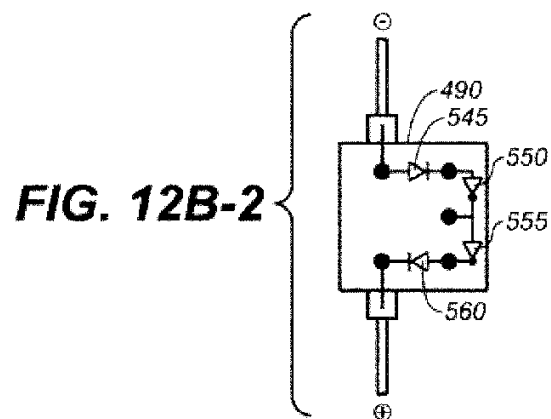


FIG. 12B-2

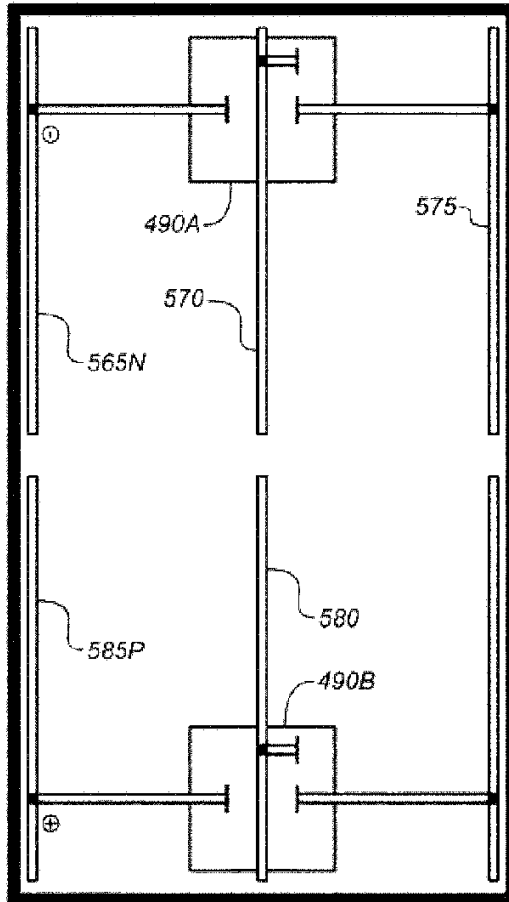


FIG. 12C-1

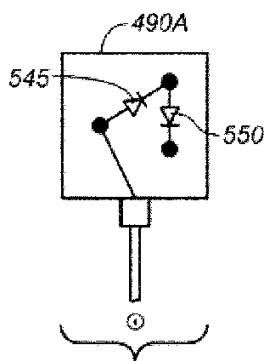


FIG. 12C-2

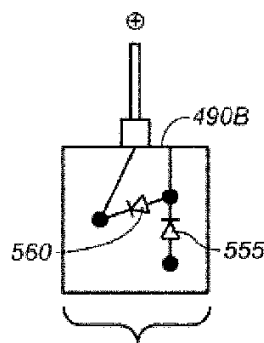


FIG. 12C-3

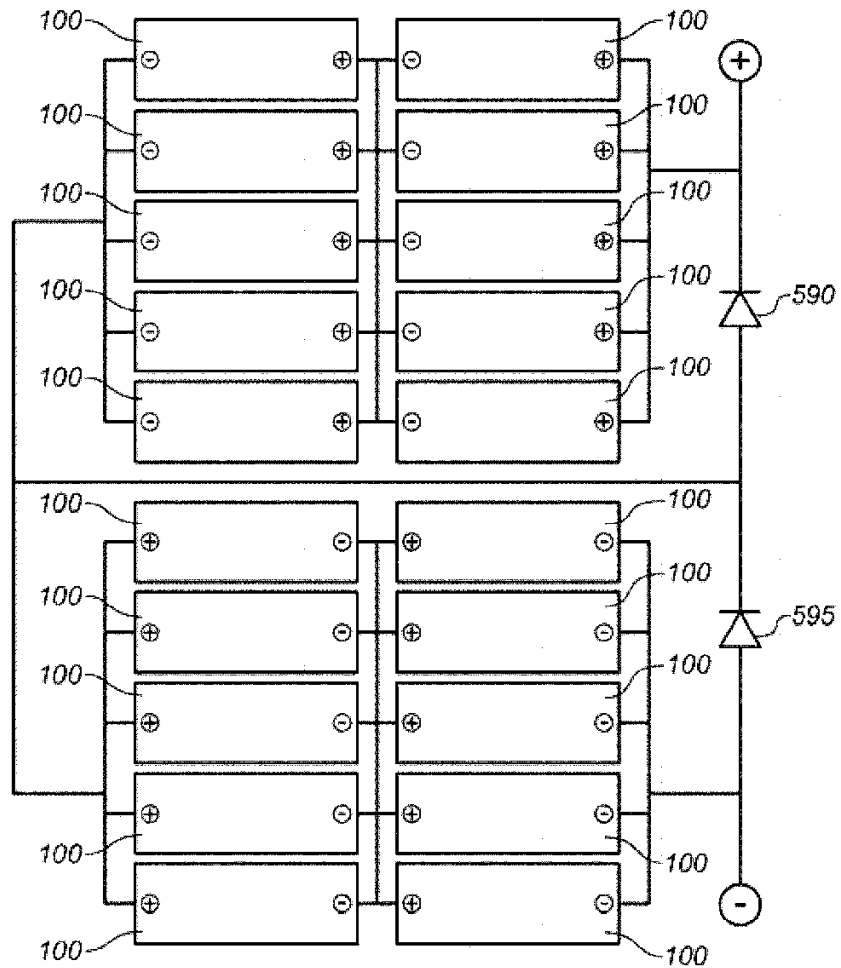


FIG. 13A

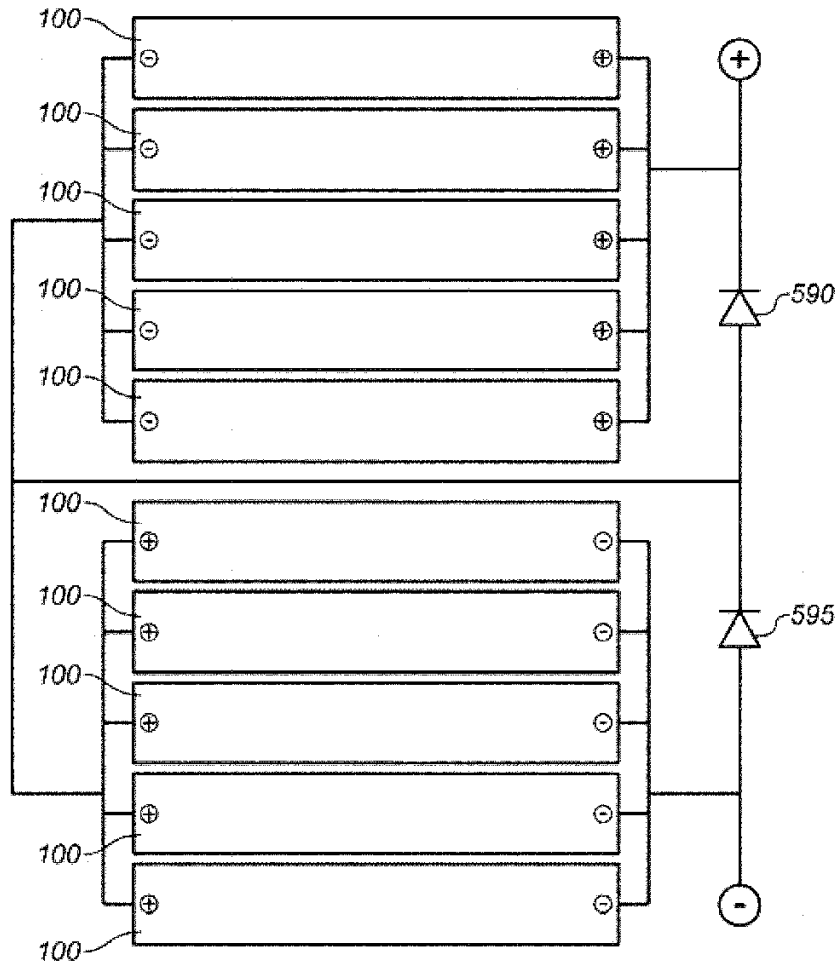


FIG. 13B

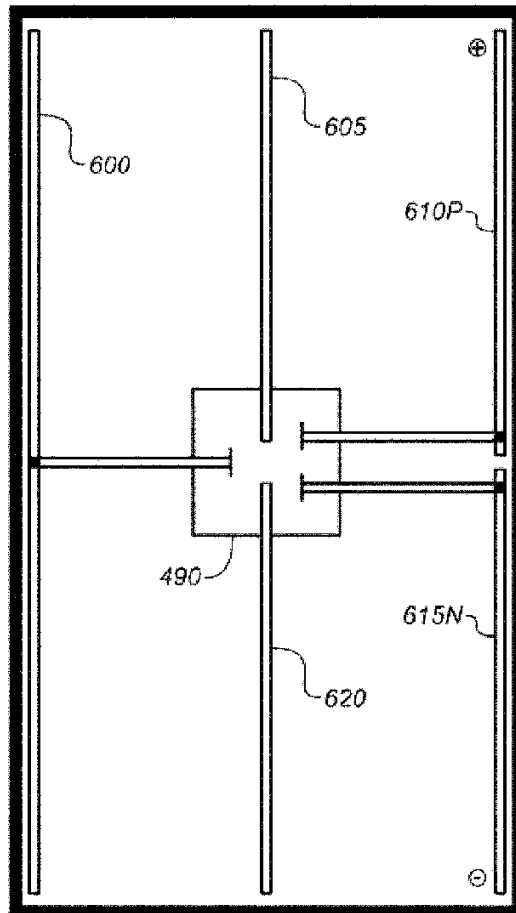


FIG. 13C-1

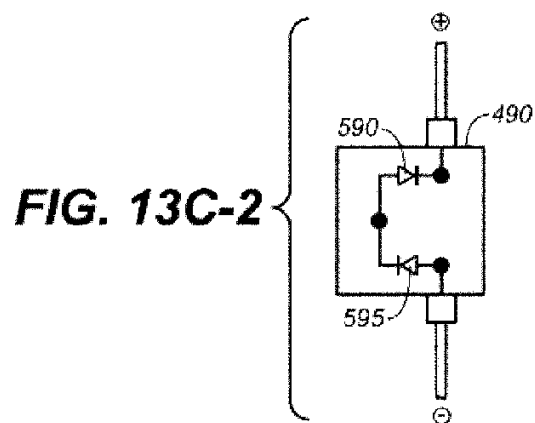


FIG. 13C-2

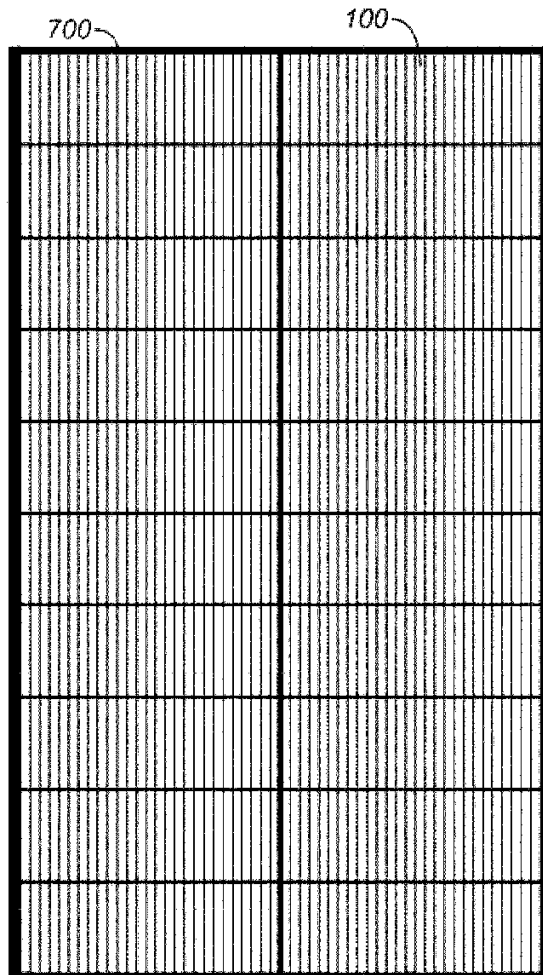


FIG. 14A

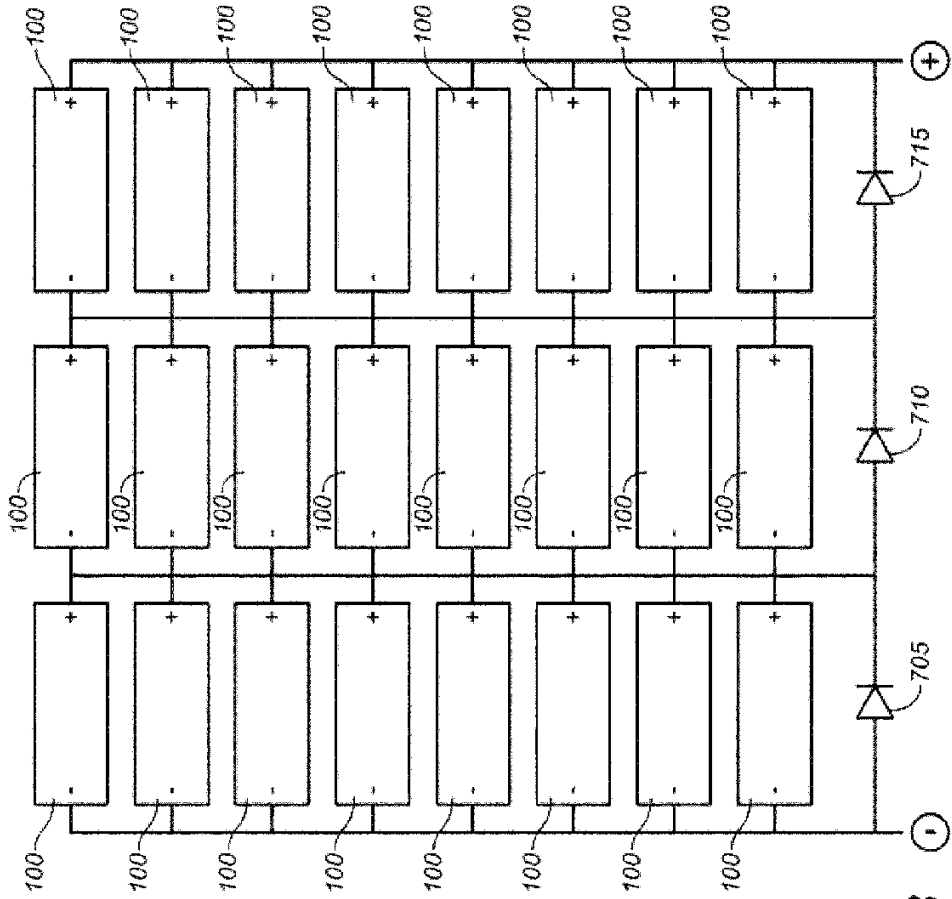


FIG. 14B

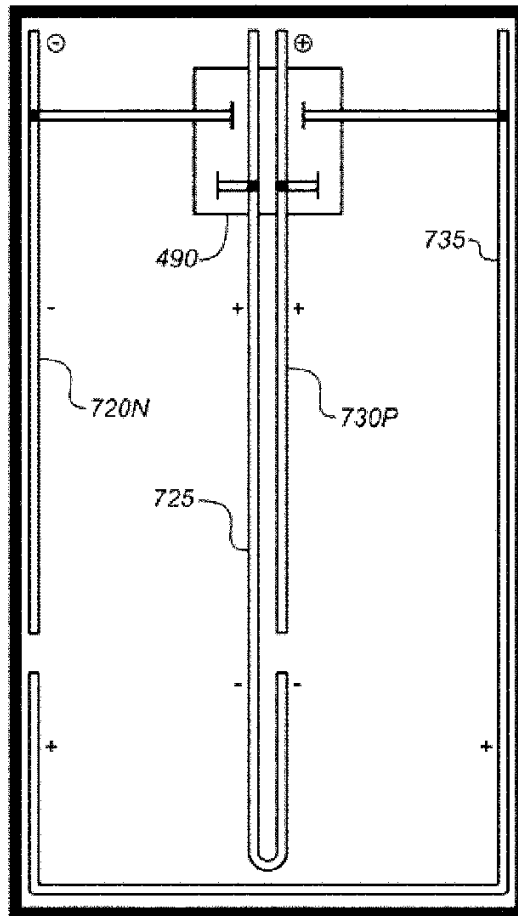


FIG. 14C-1

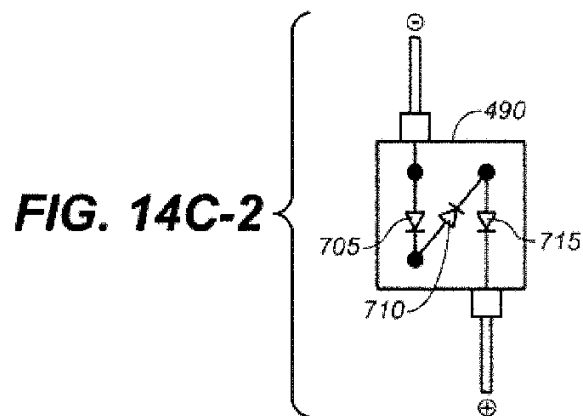


FIG. 14C-2

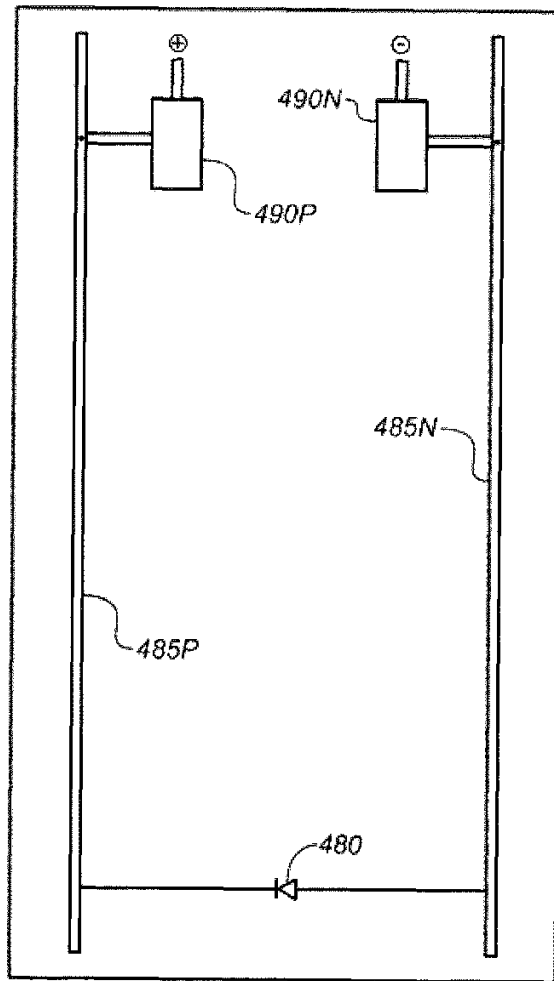


FIG. 15

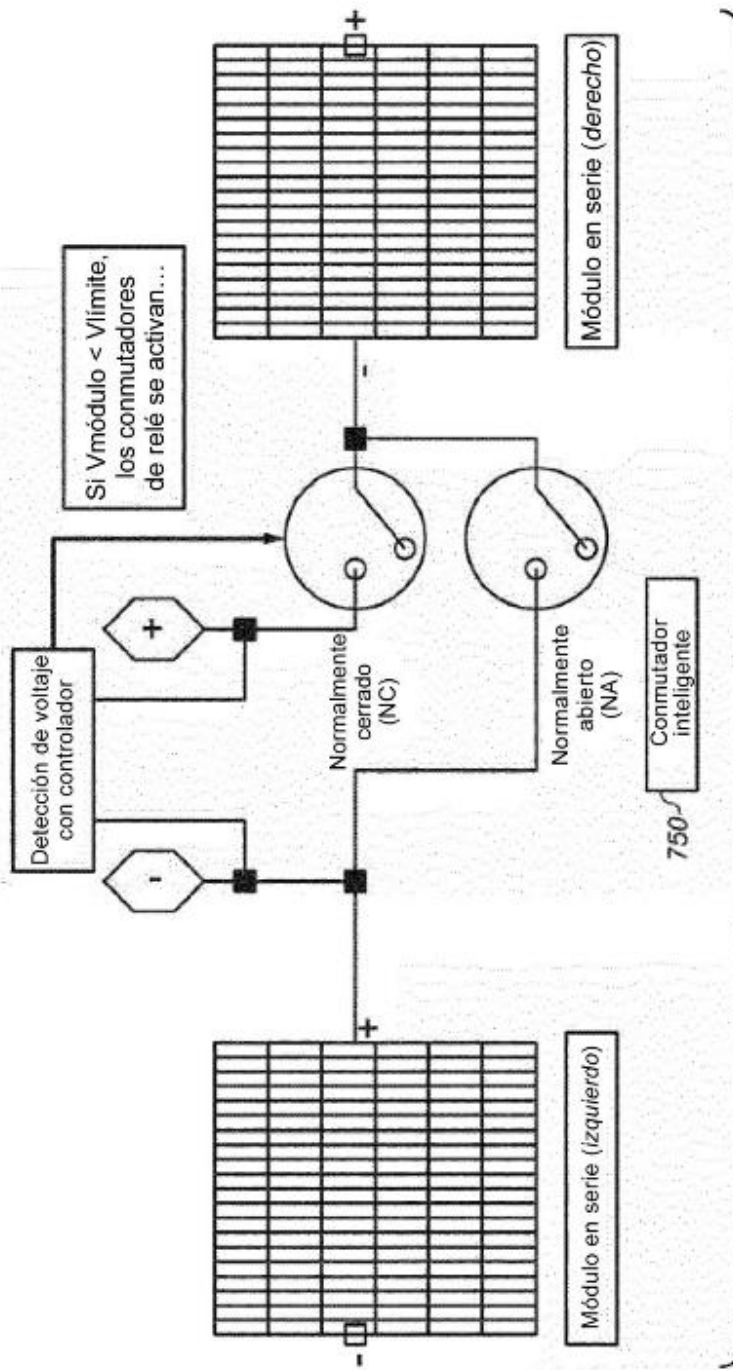


FIG. 16

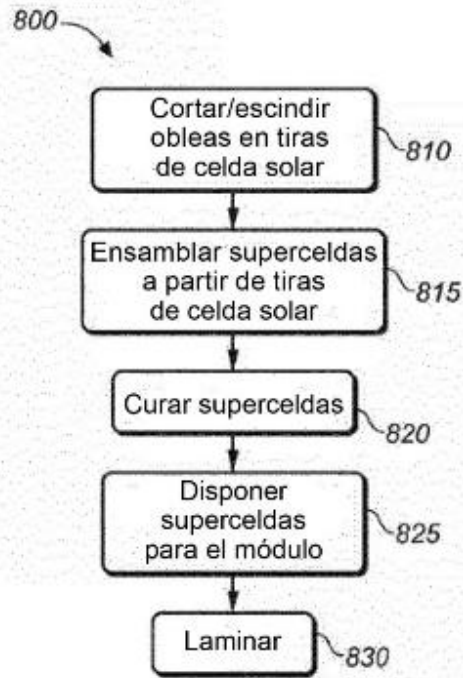


FIG. 17

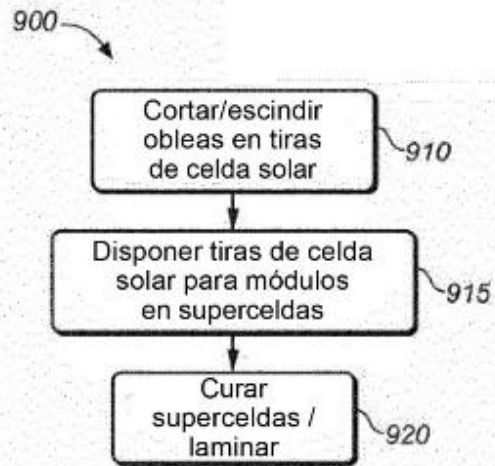
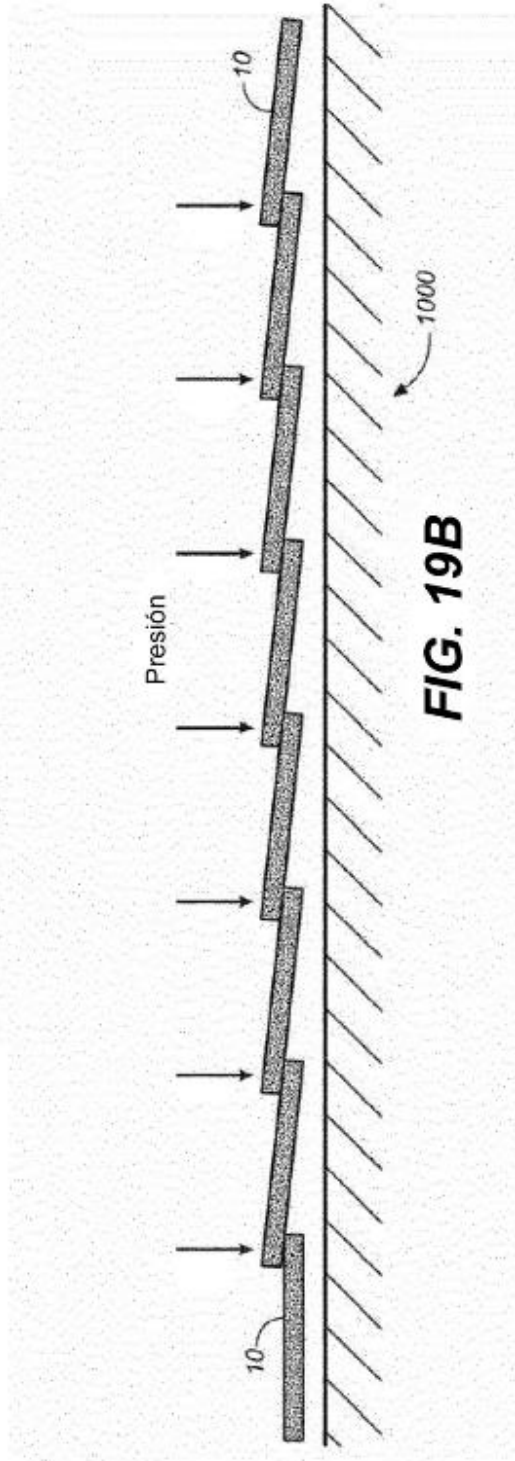
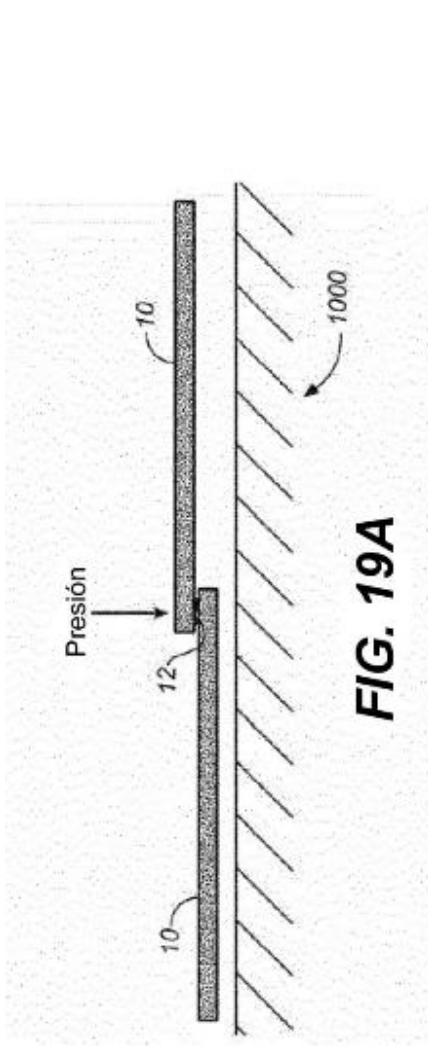


FIG. 18



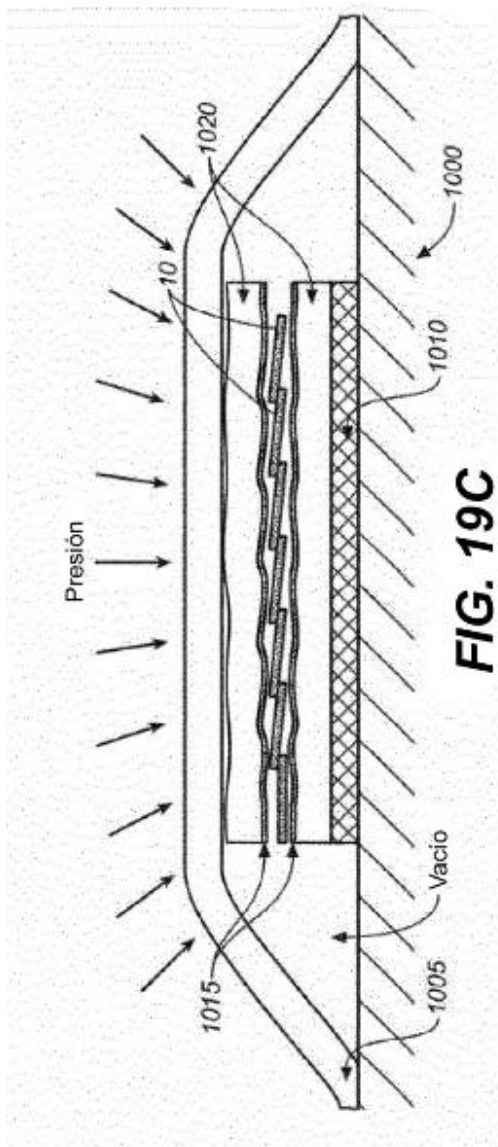


FIG. 19C

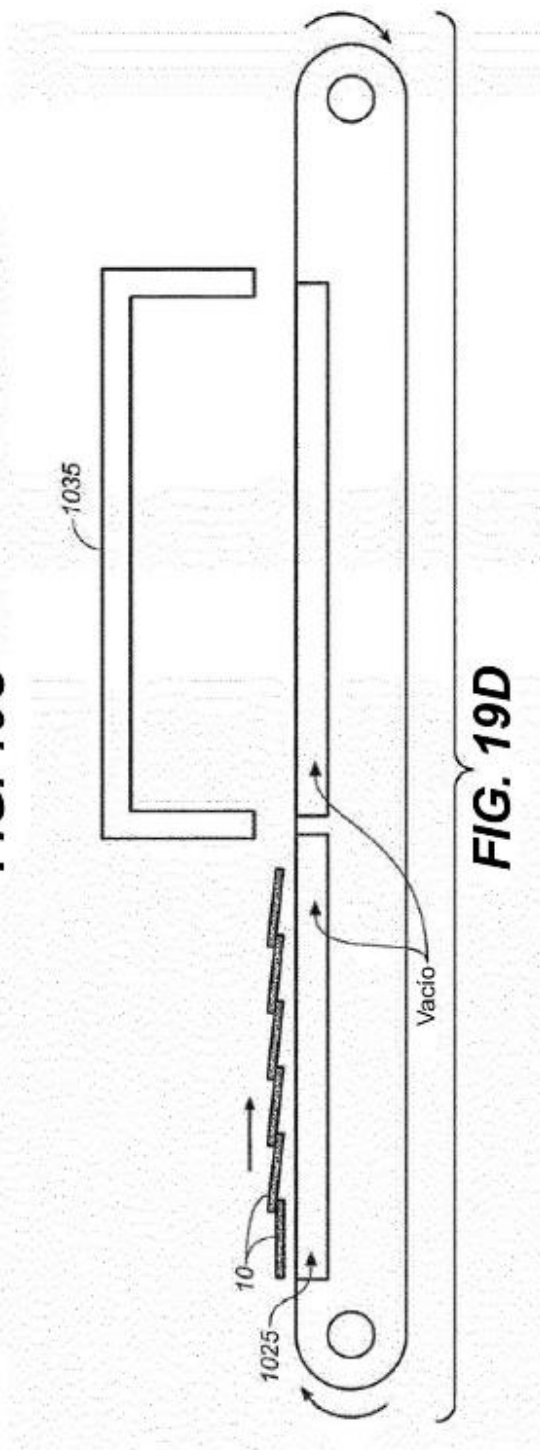


FIG. 19D

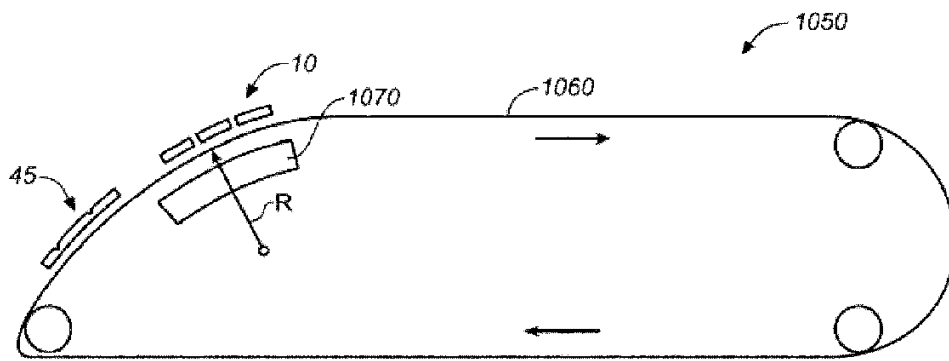


FIG. 20A

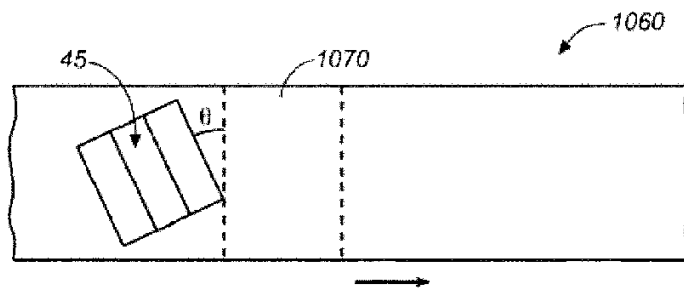


FIG. 20B

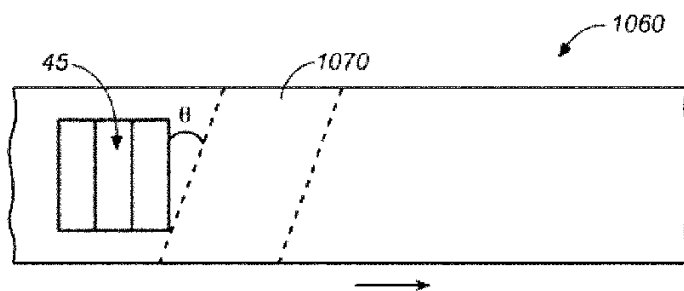


FIG. 20C

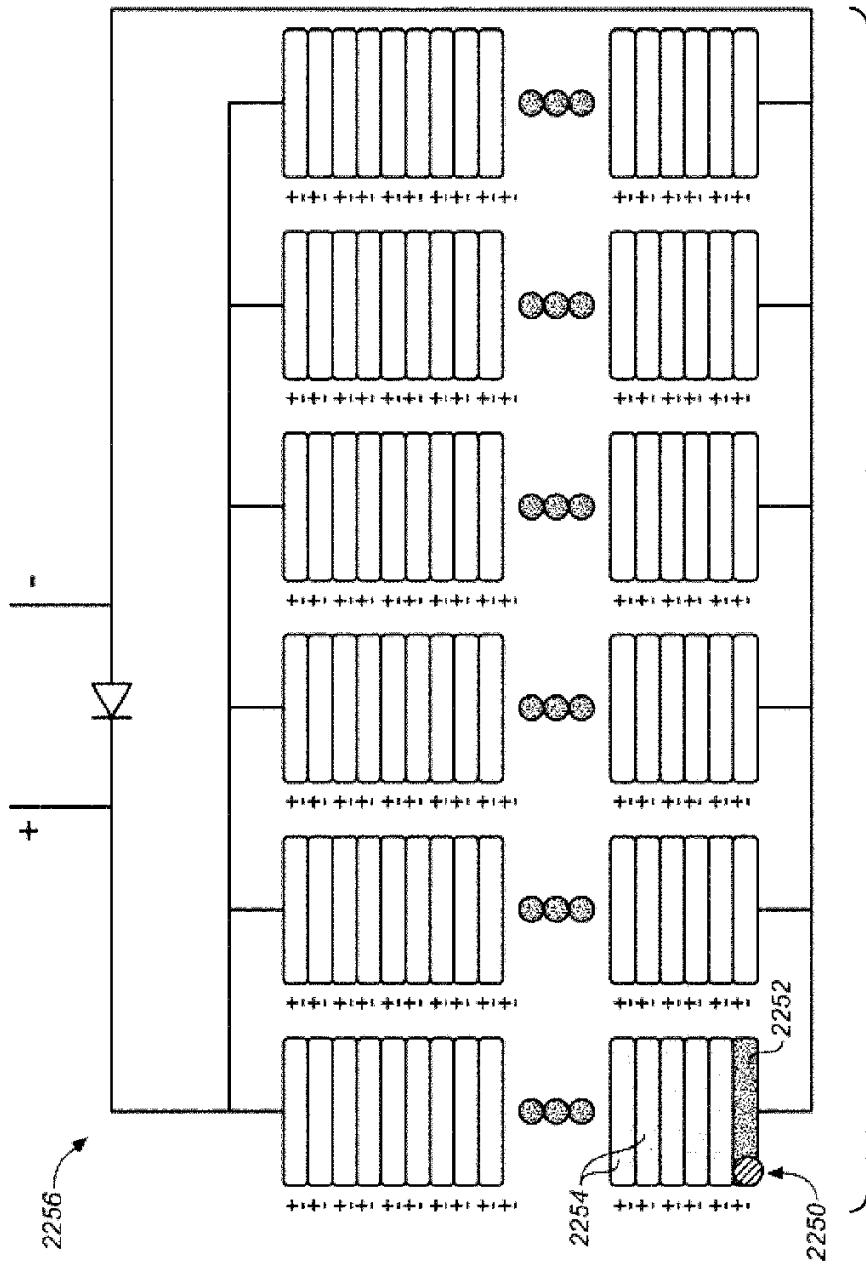


FIG. 22B

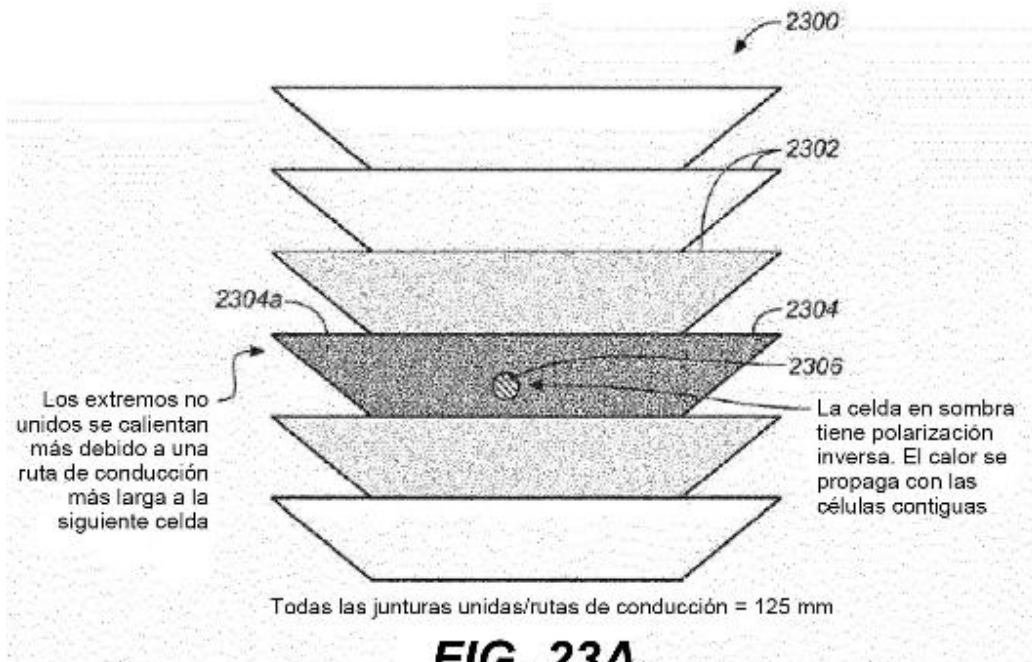


FIG. 23A

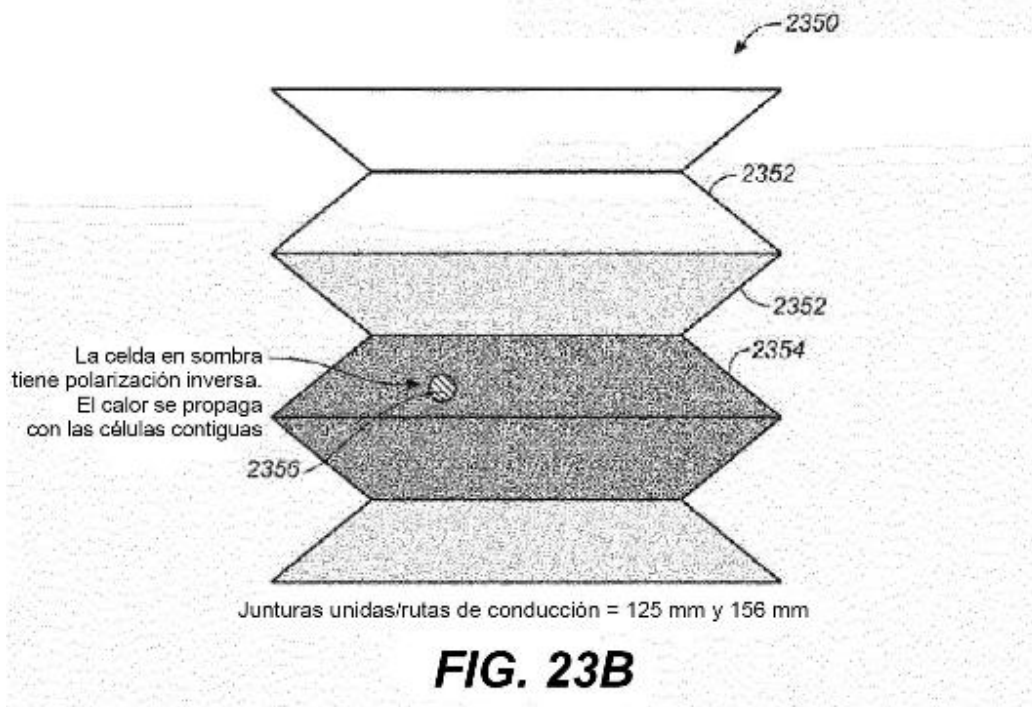


FIG. 23B

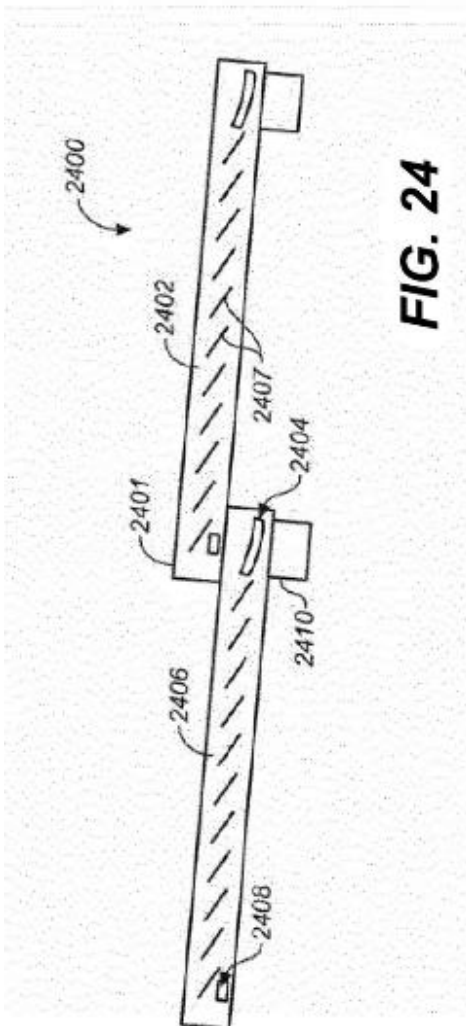


FIG. 24

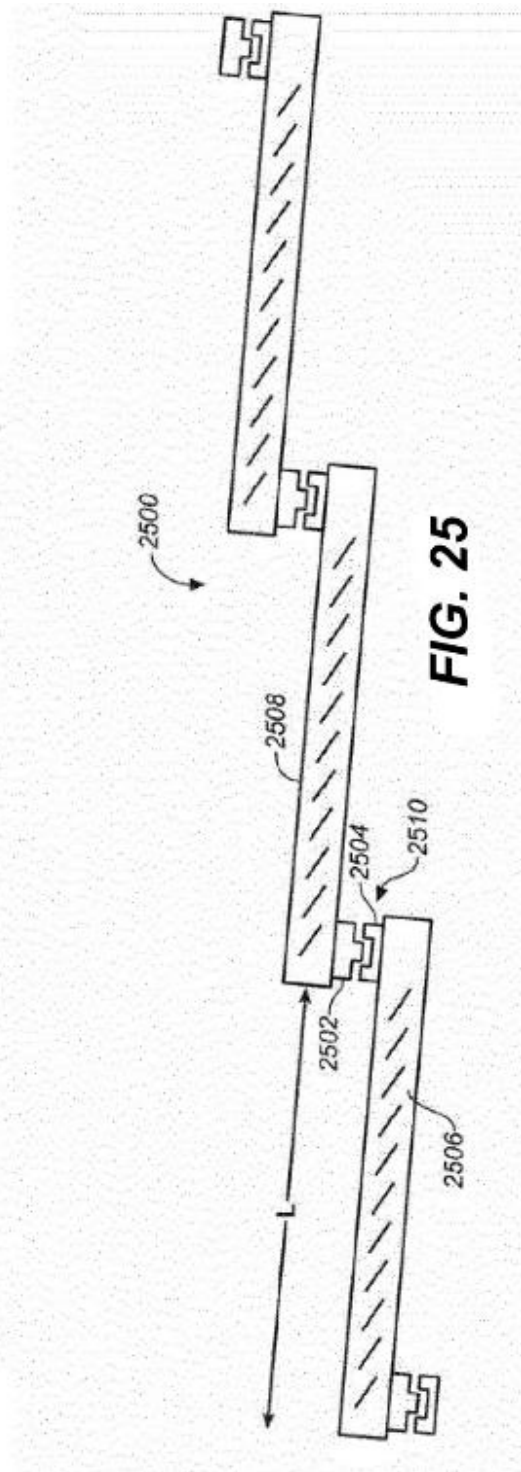


FIG. 25

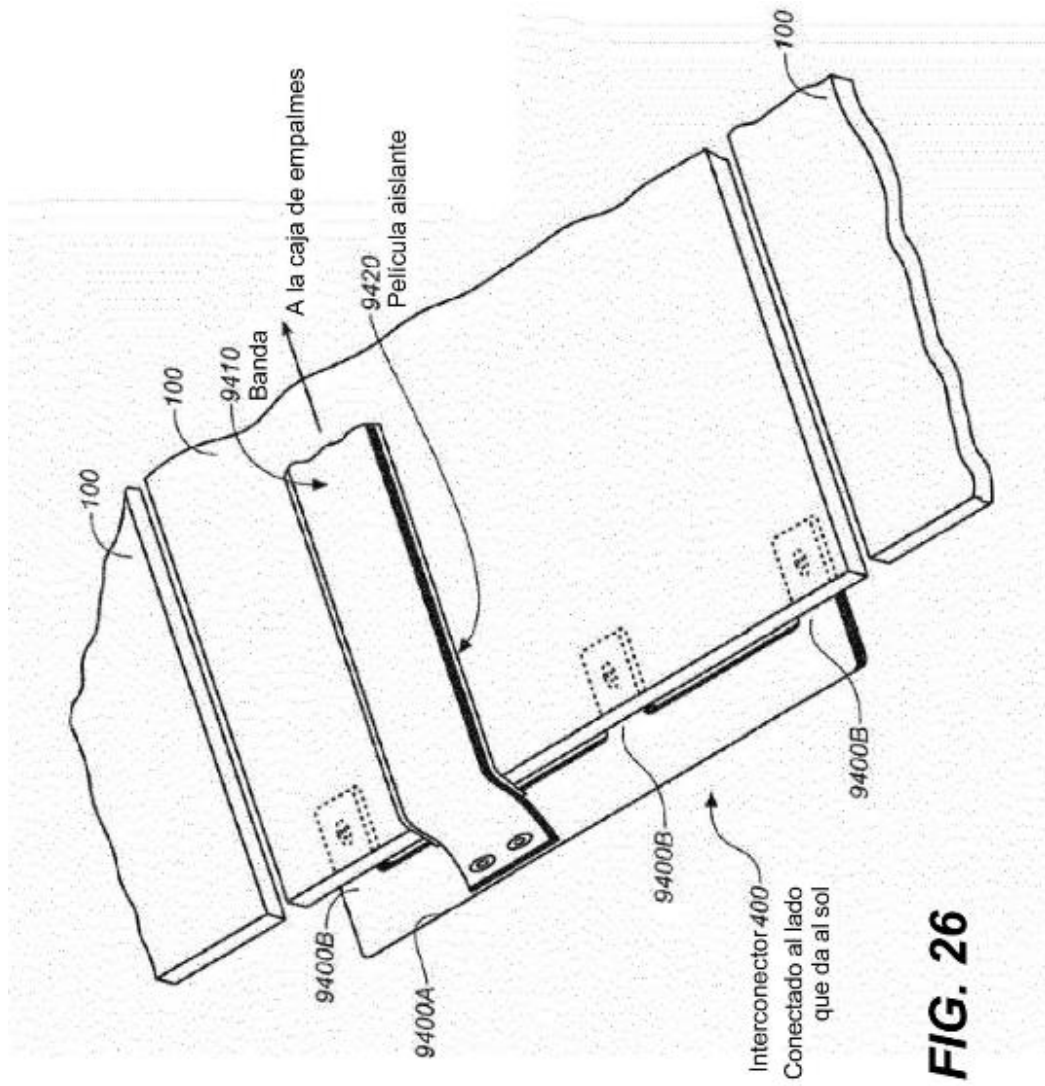


FIG. 26

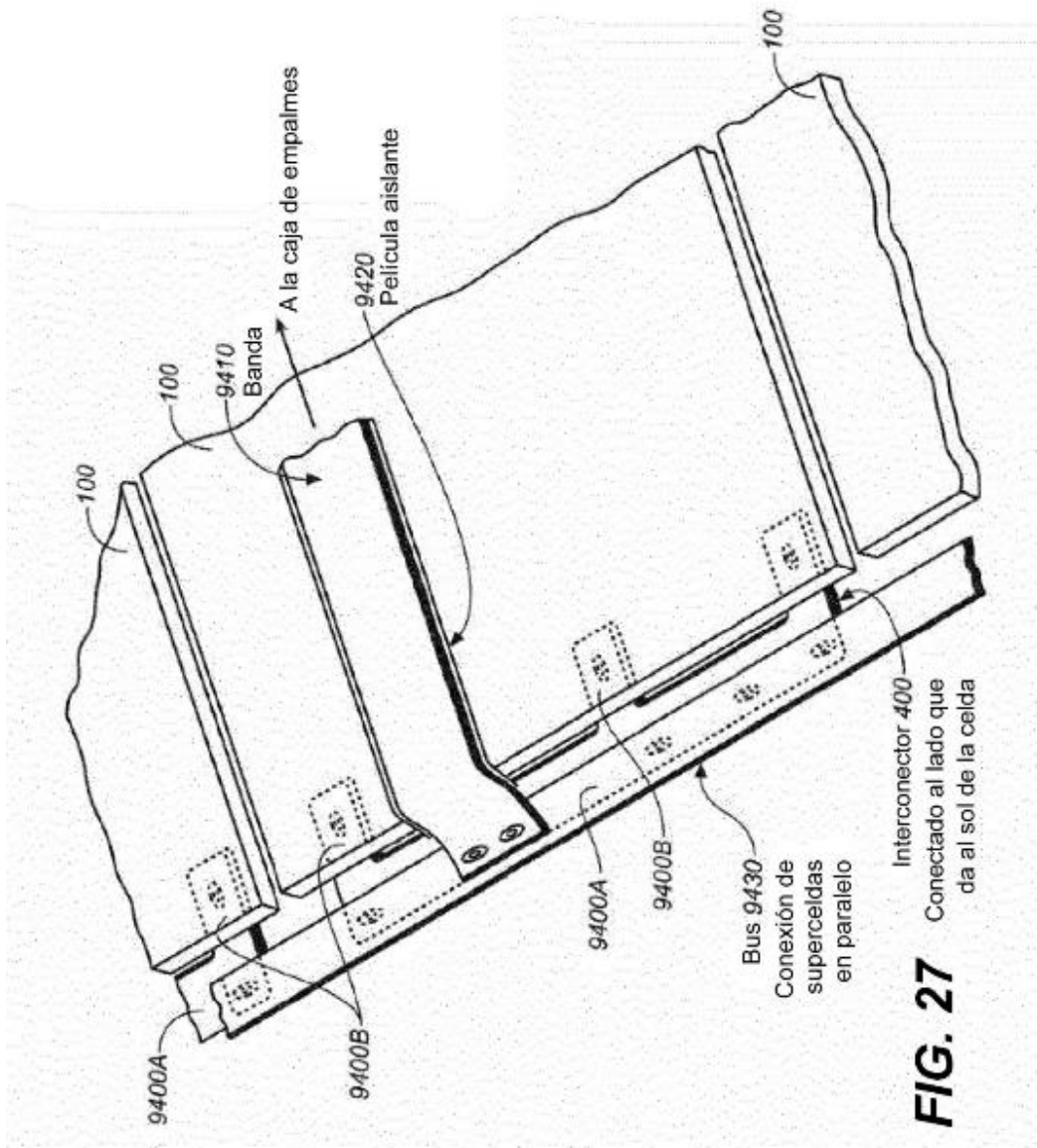
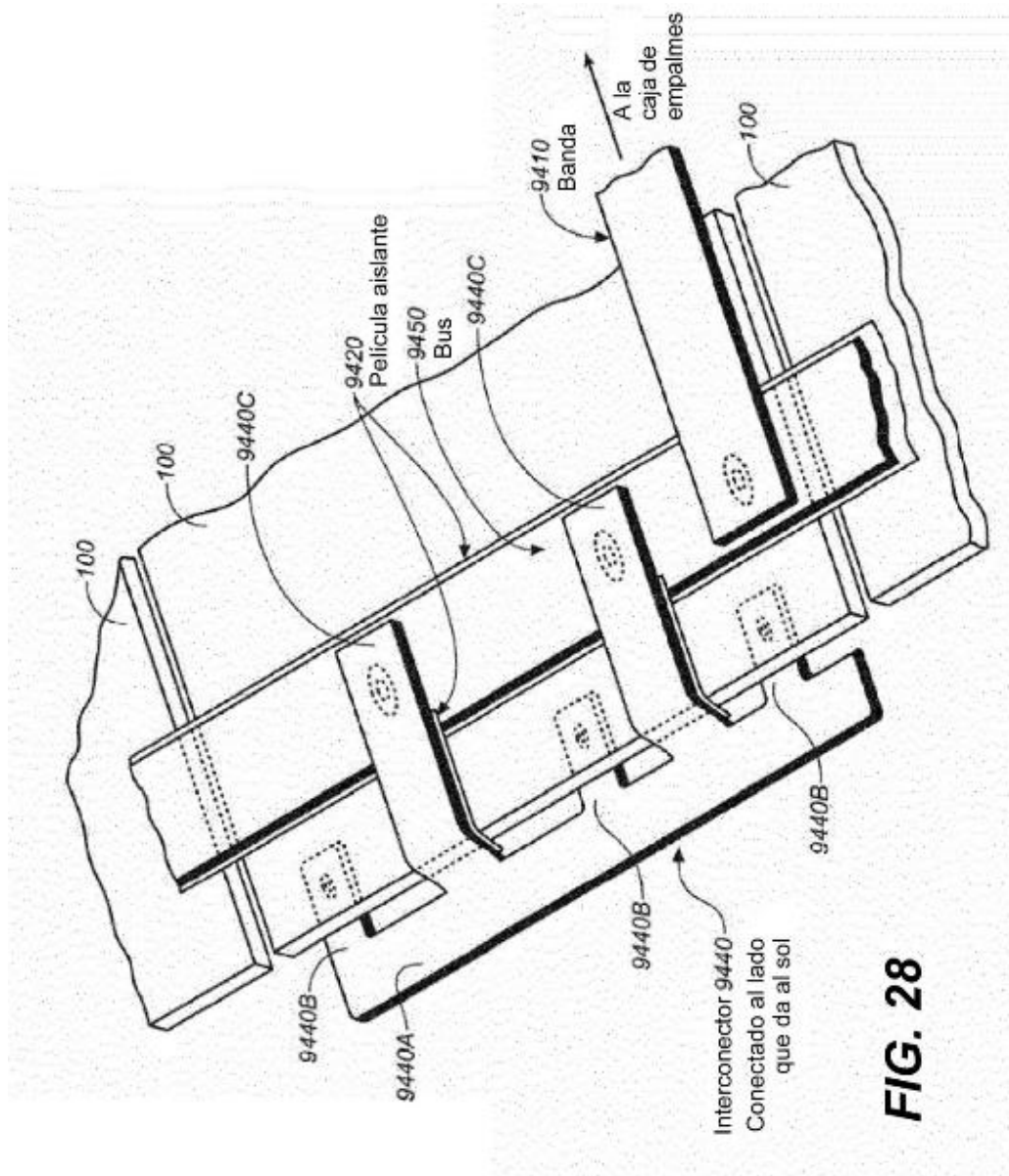
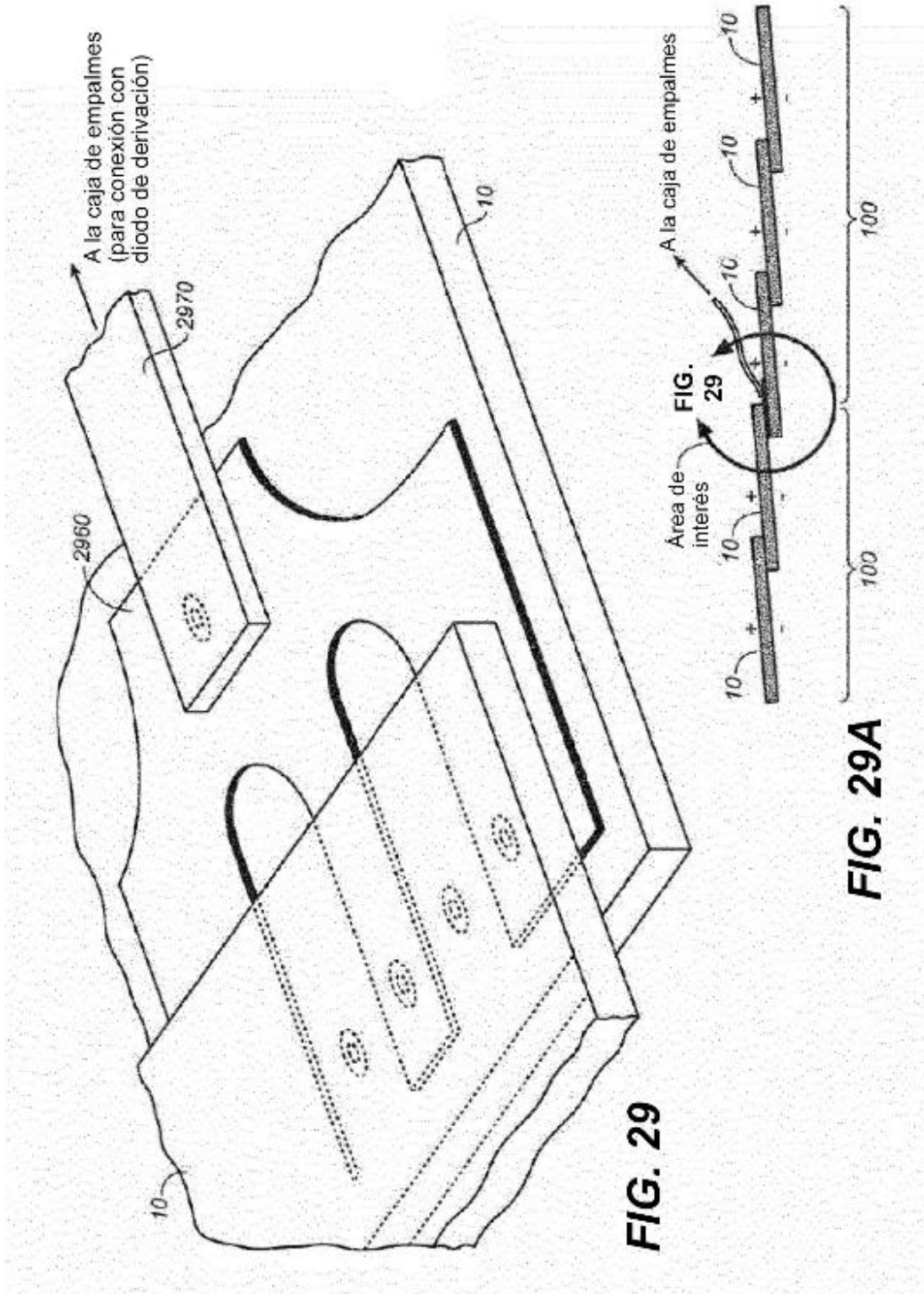


FIG. 27





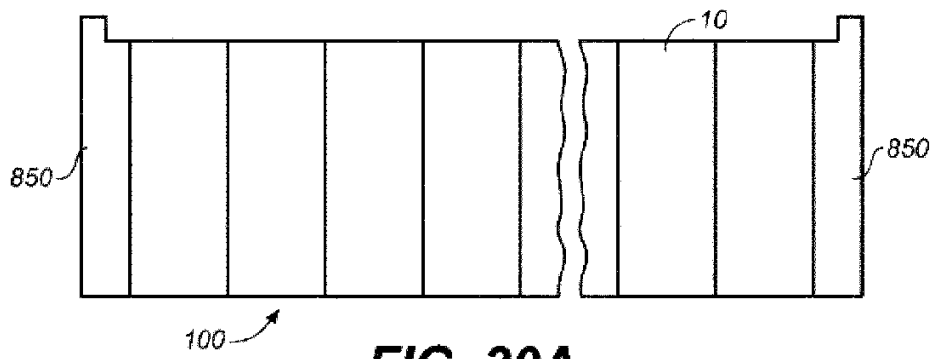


FIG. 30A

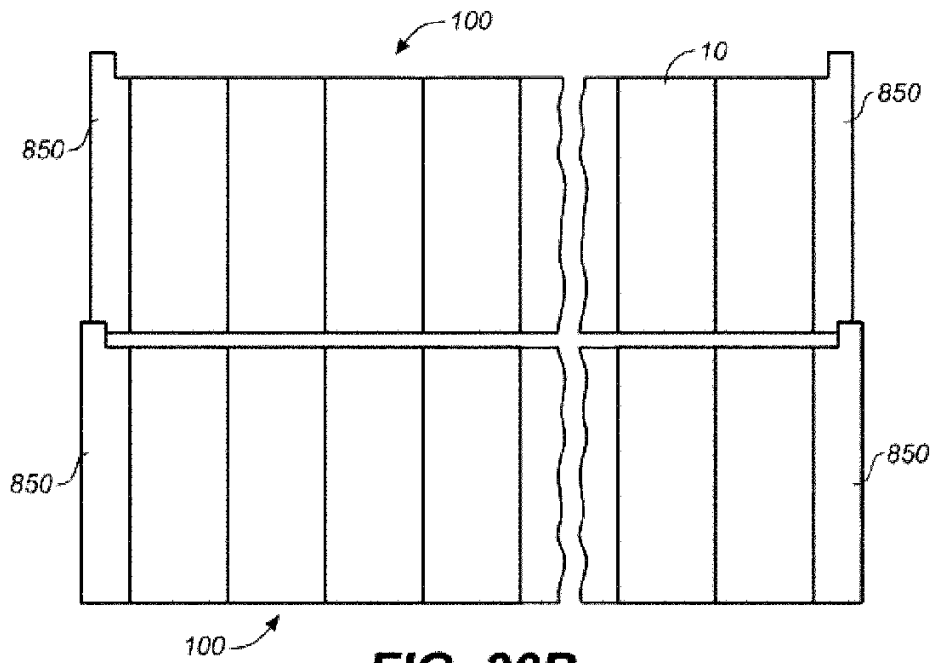


FIG. 30B

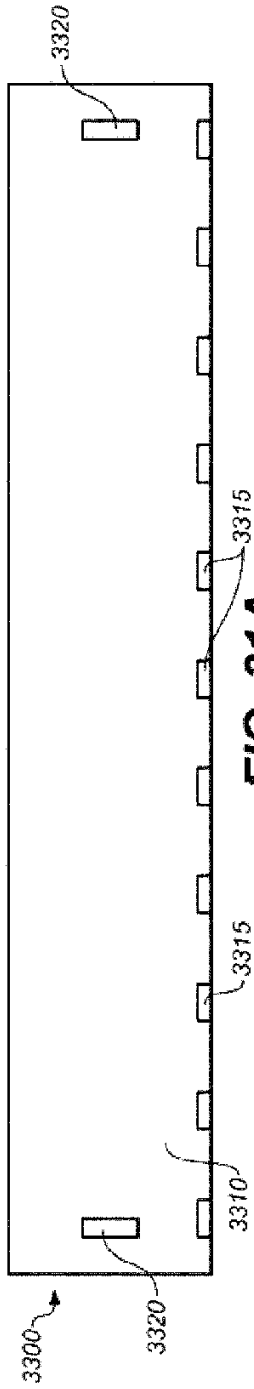


FIG. 31A

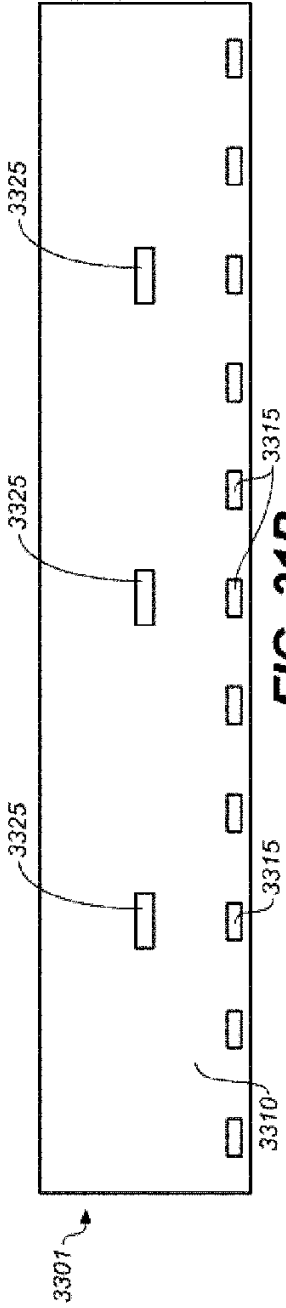


FIG. 31B

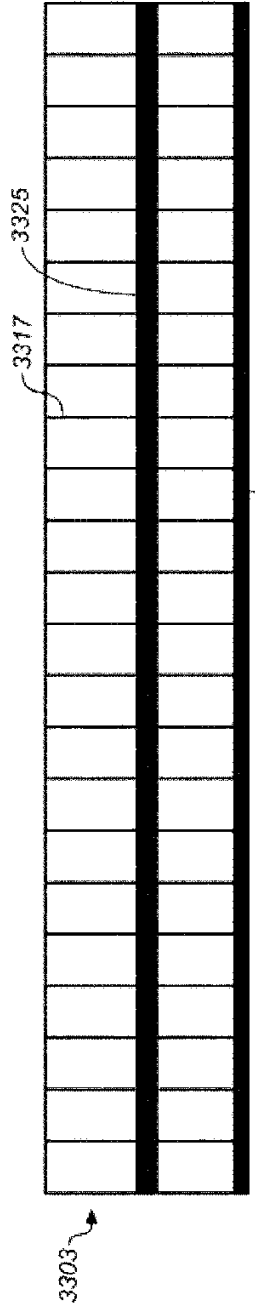


FIG. 31C

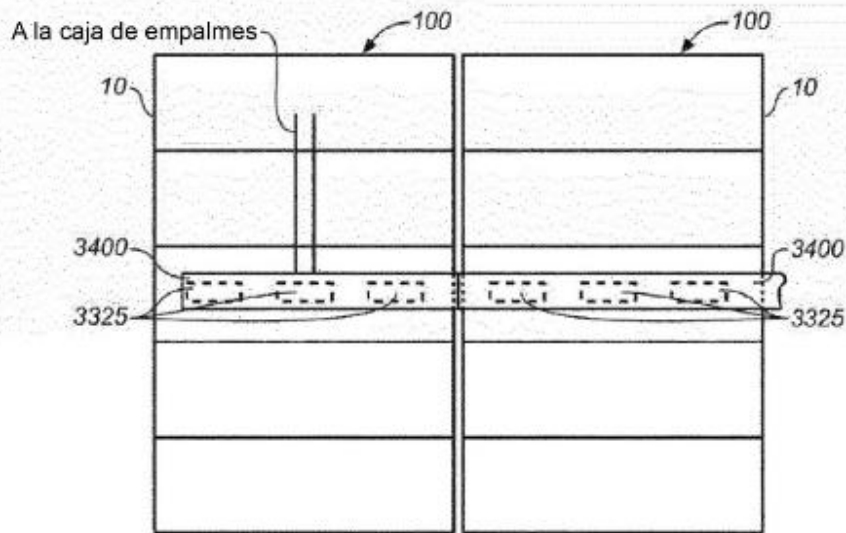


FIG. 32

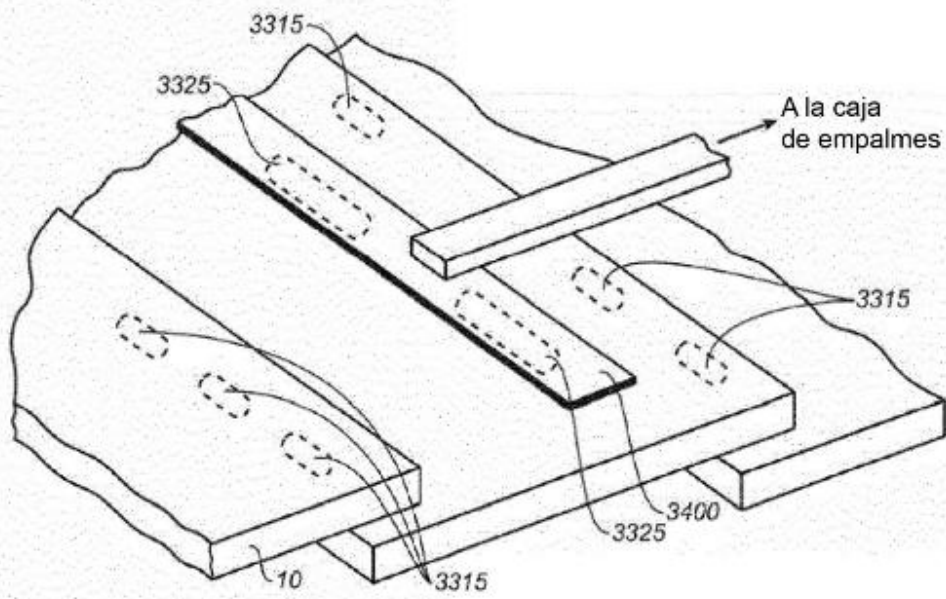
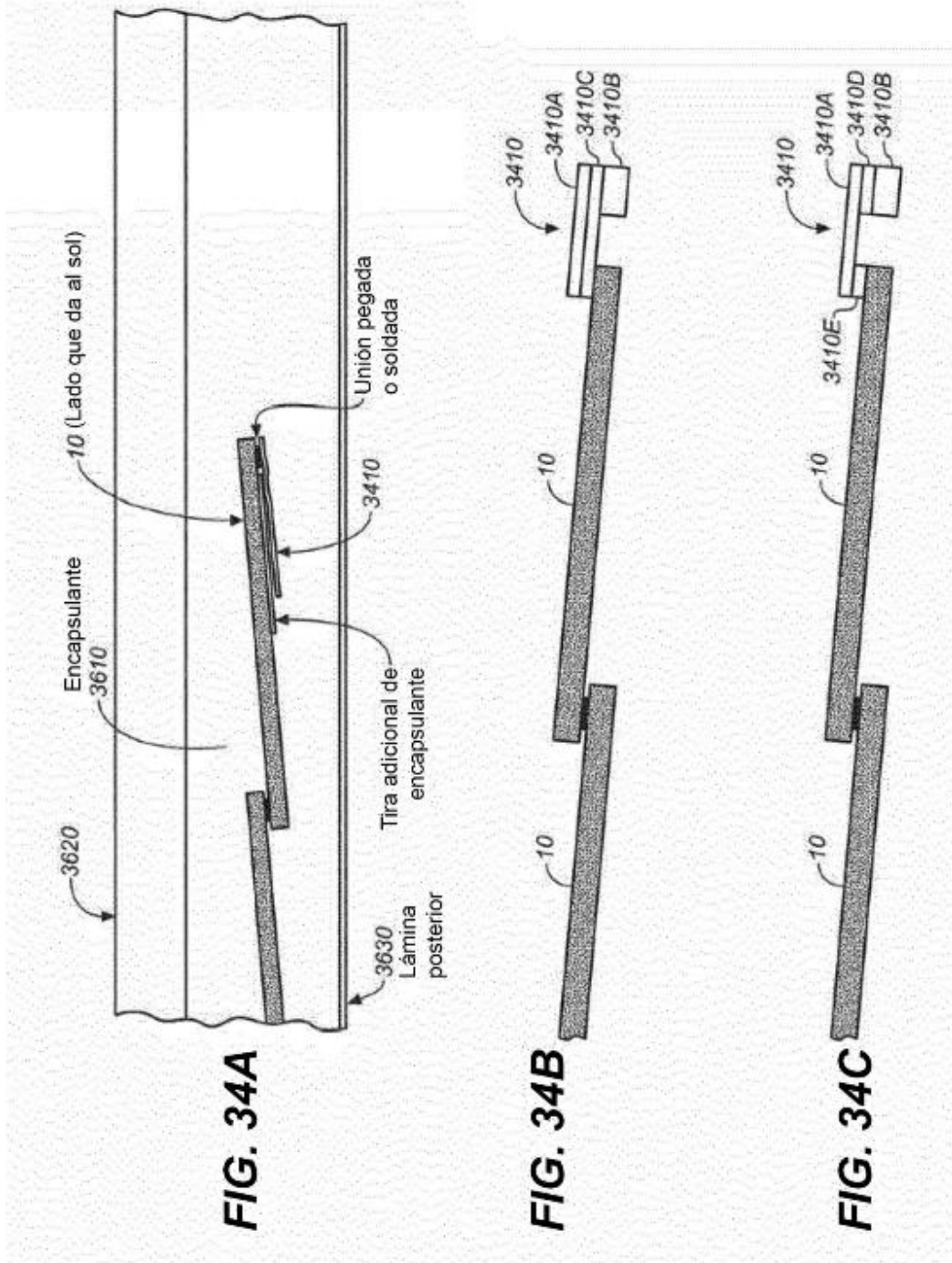


FIG. 33



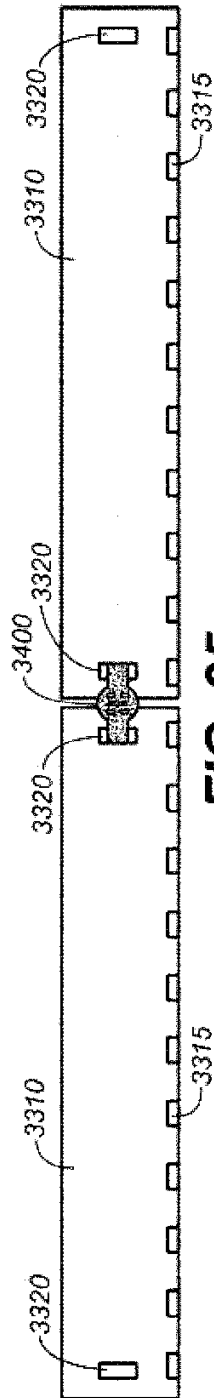


FIG. 35

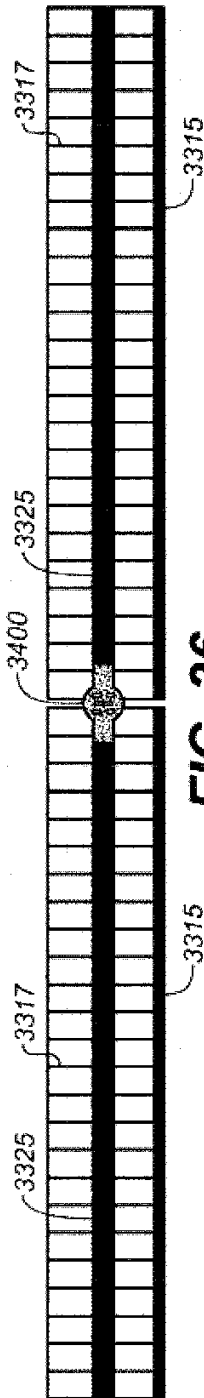


FIG. 36

FIG. 37A-1

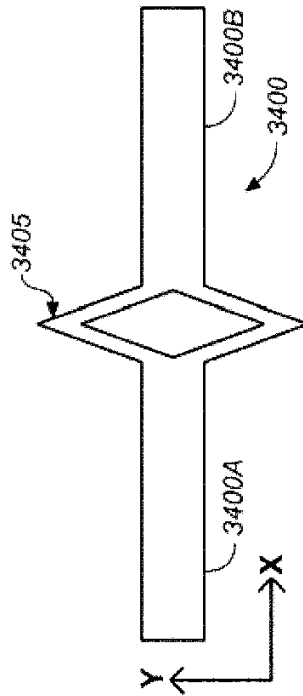


FIG. 37B-1

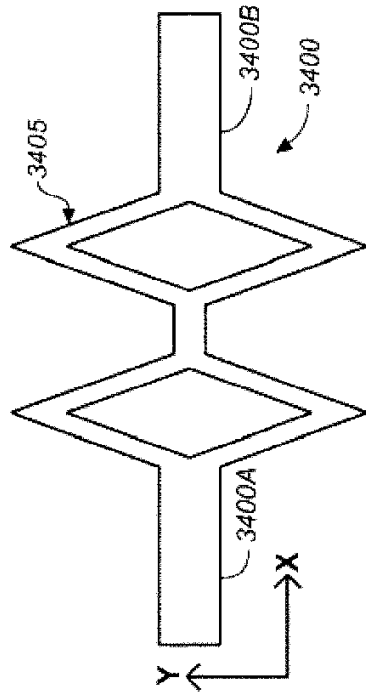


FIG. 37A-2

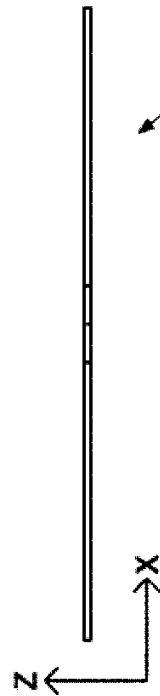


FIG. 37B-2

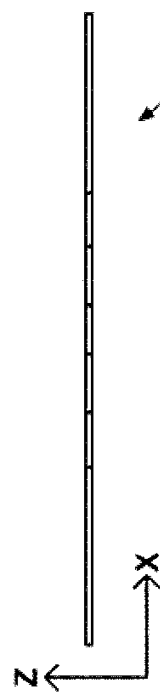


FIG. 37C-1

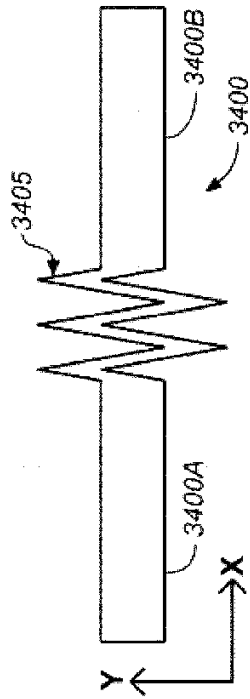


FIG. 37D-1

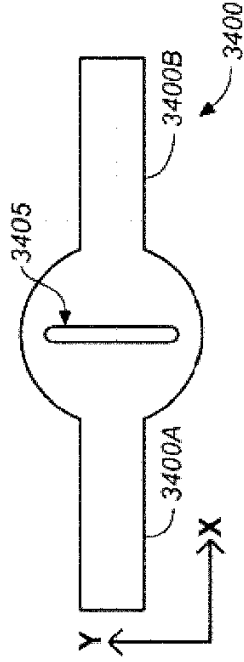


FIG. 37C-2

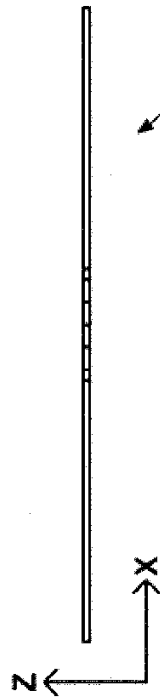


FIG. 37D-2

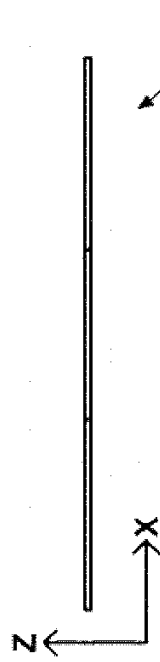


FIG. 37E-1

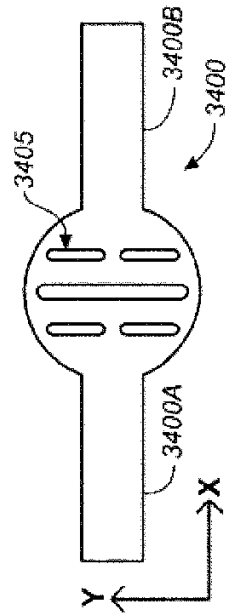


FIG. 37E-2

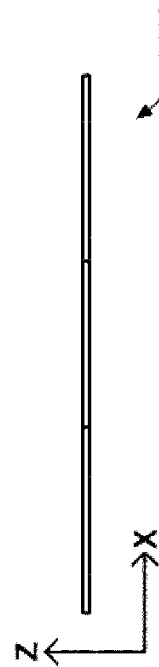


FIG. 37F-1

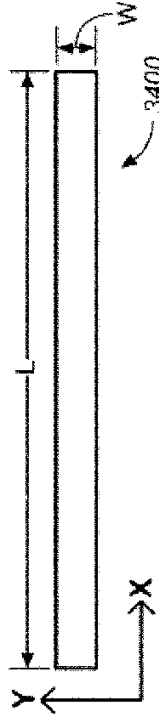


FIG. 37F-2

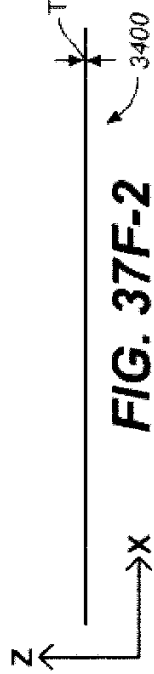


FIG. 37F-3

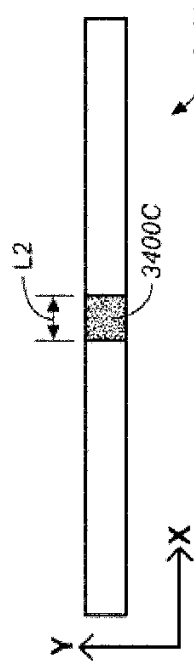


FIG. 38B-1

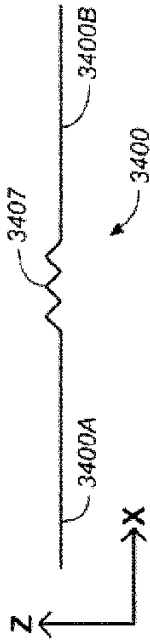


FIG. 38B-2

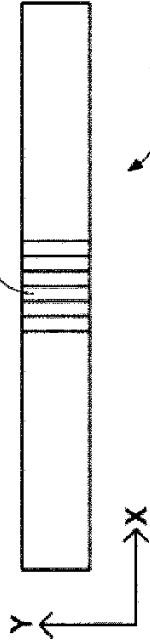
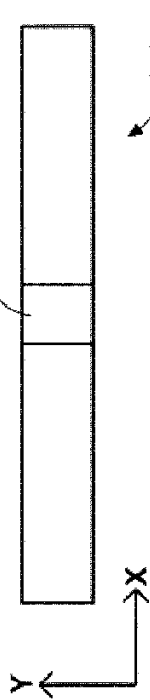
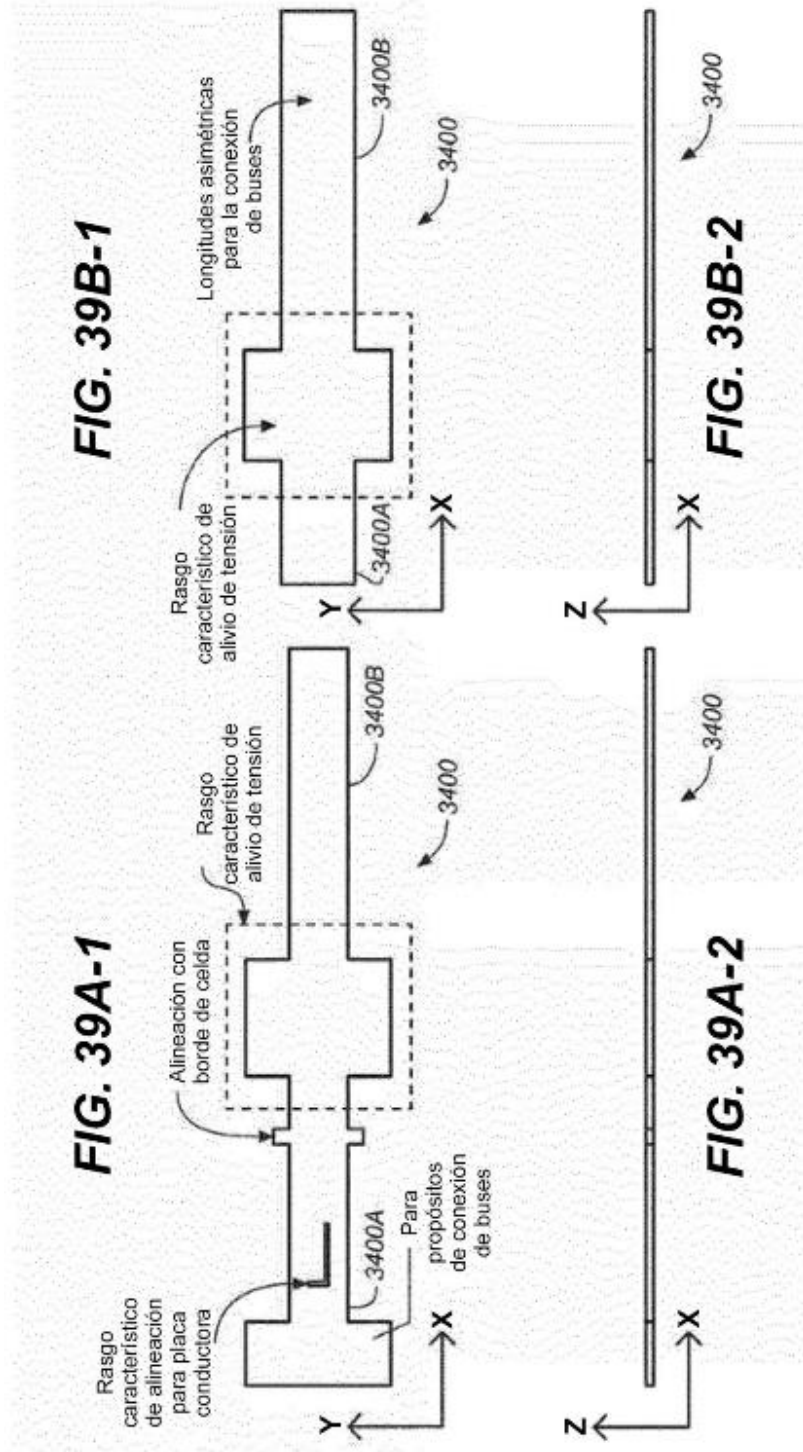


FIG. 38A-1



FIG. 38A-2





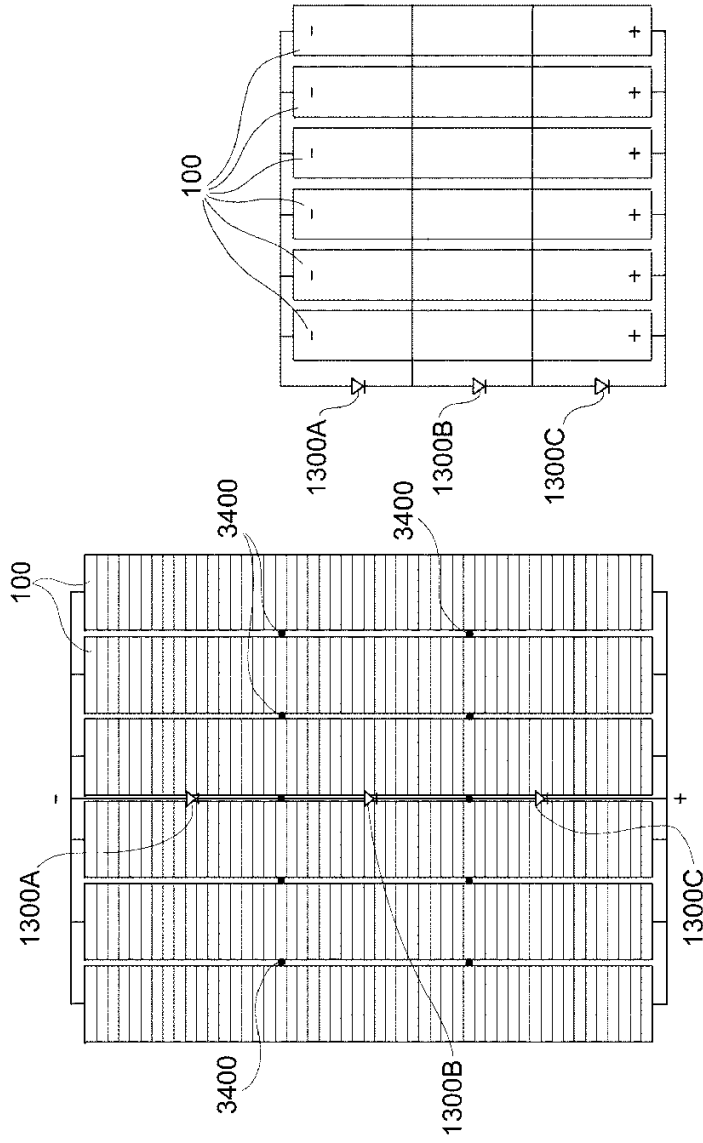
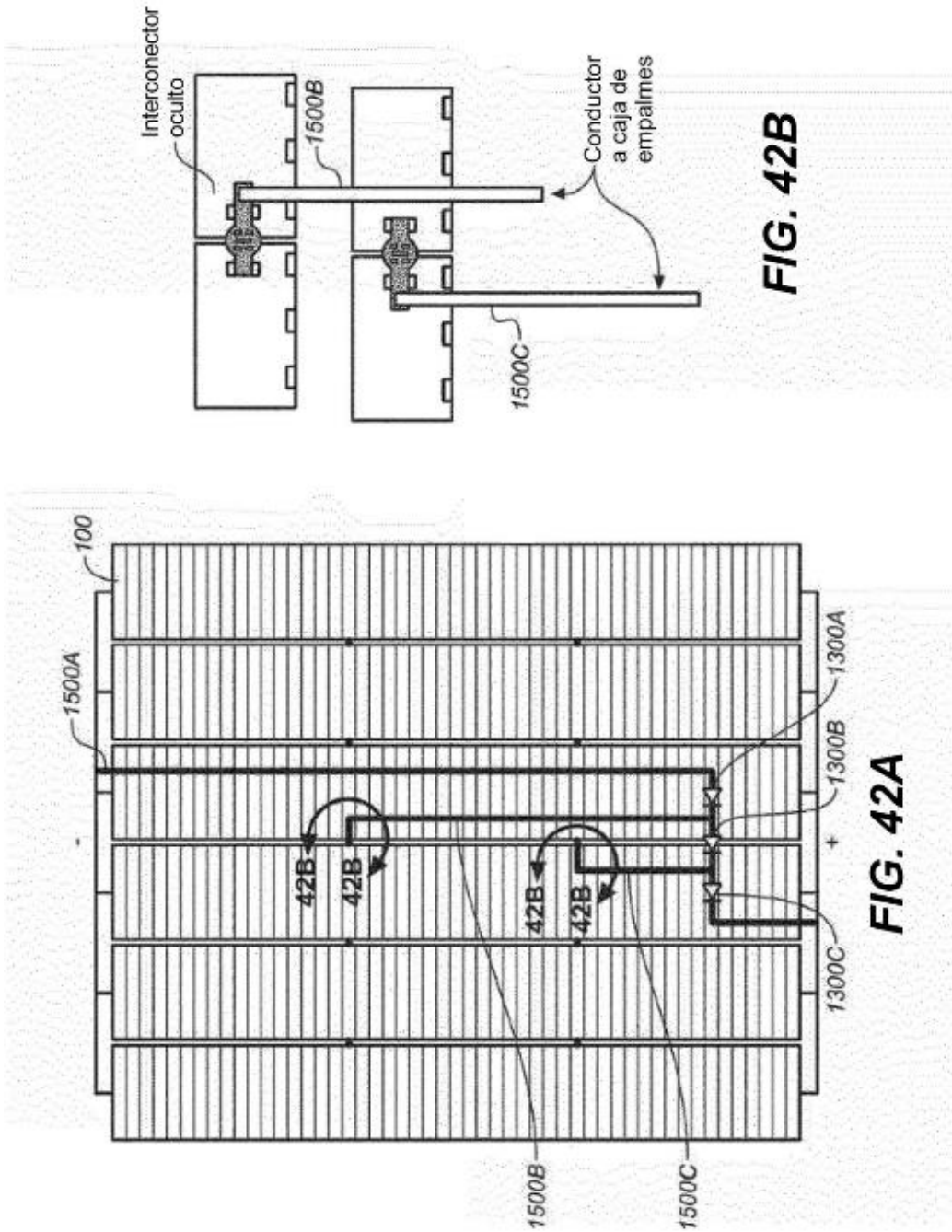


FIG. 41

FIG. 40



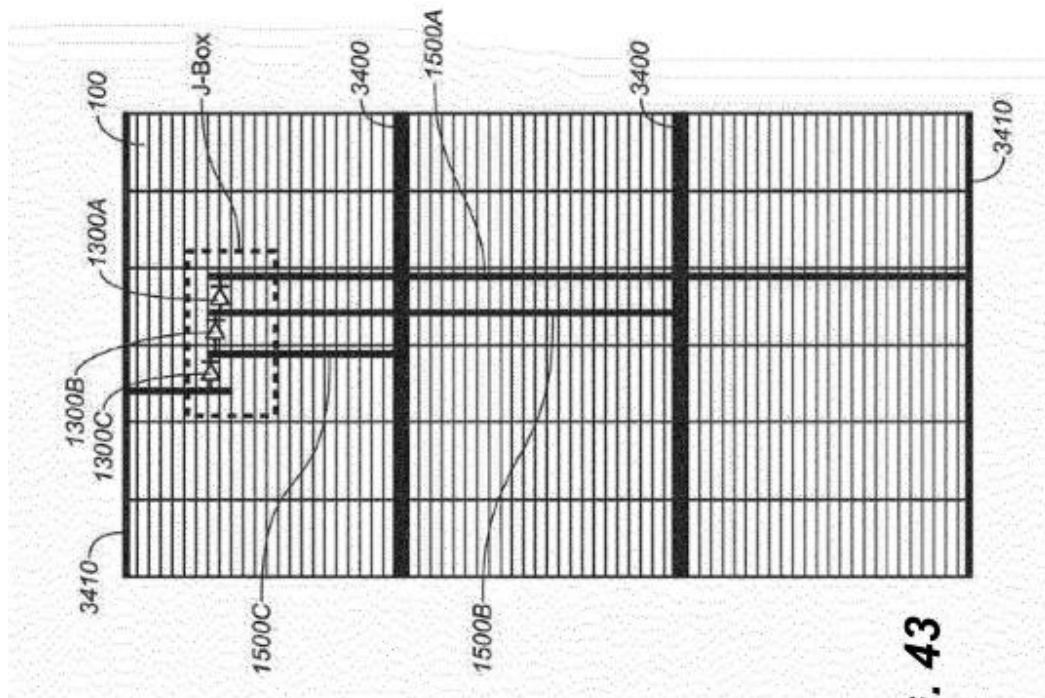
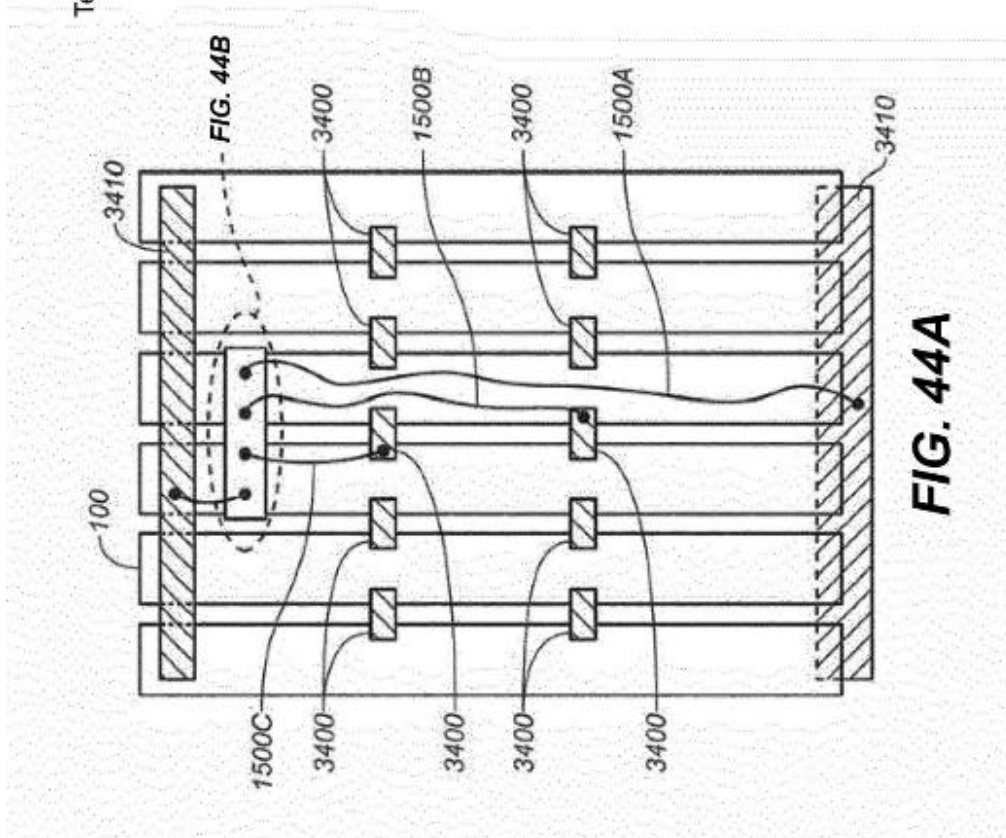
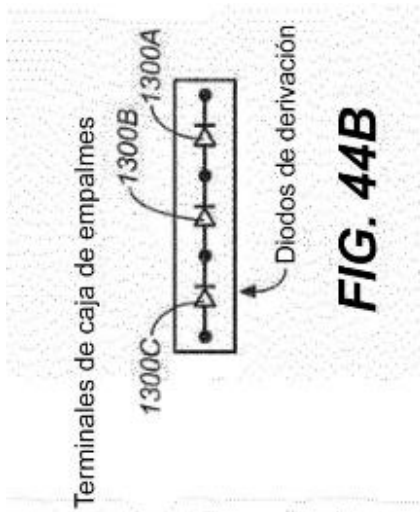
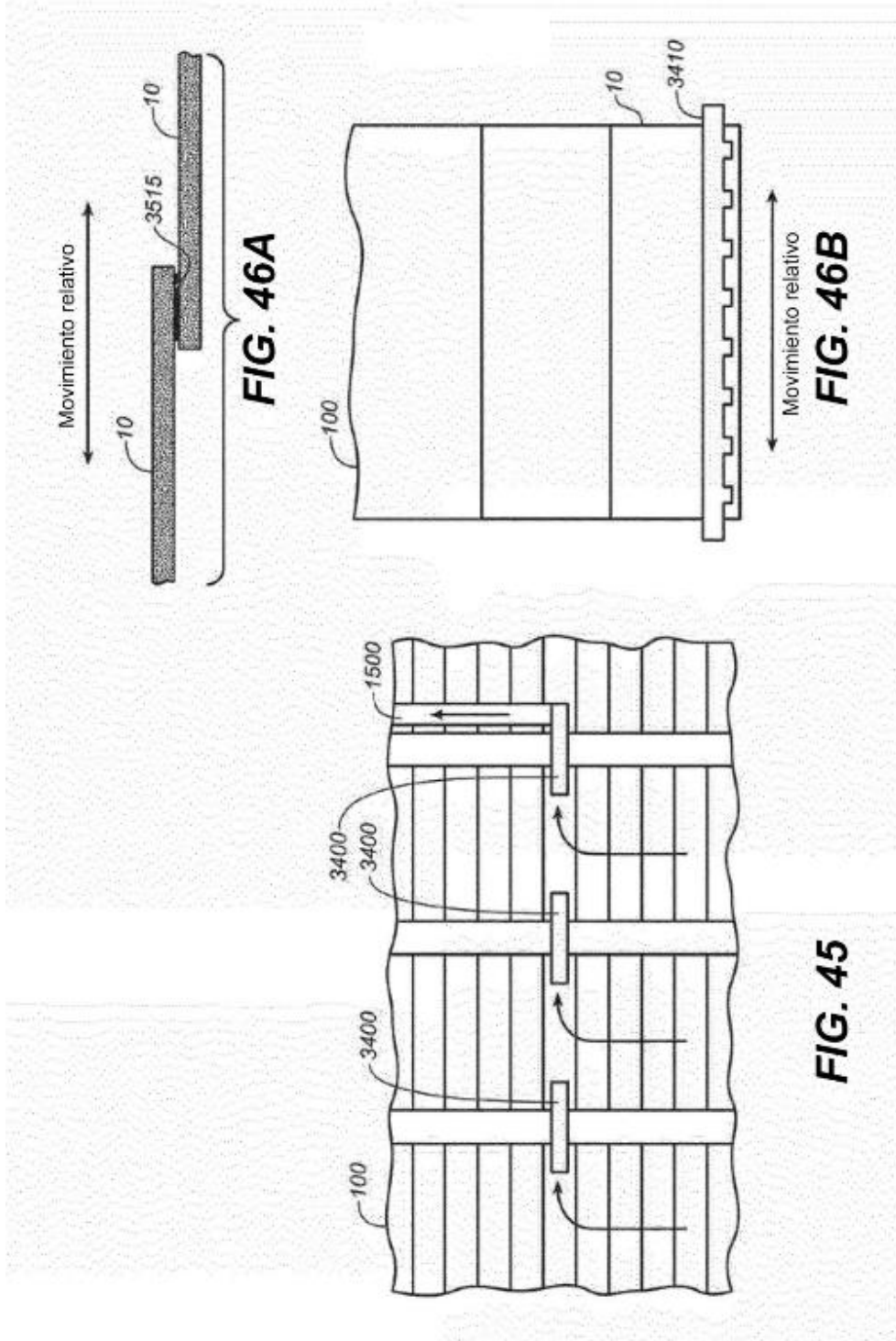


FIG. 43





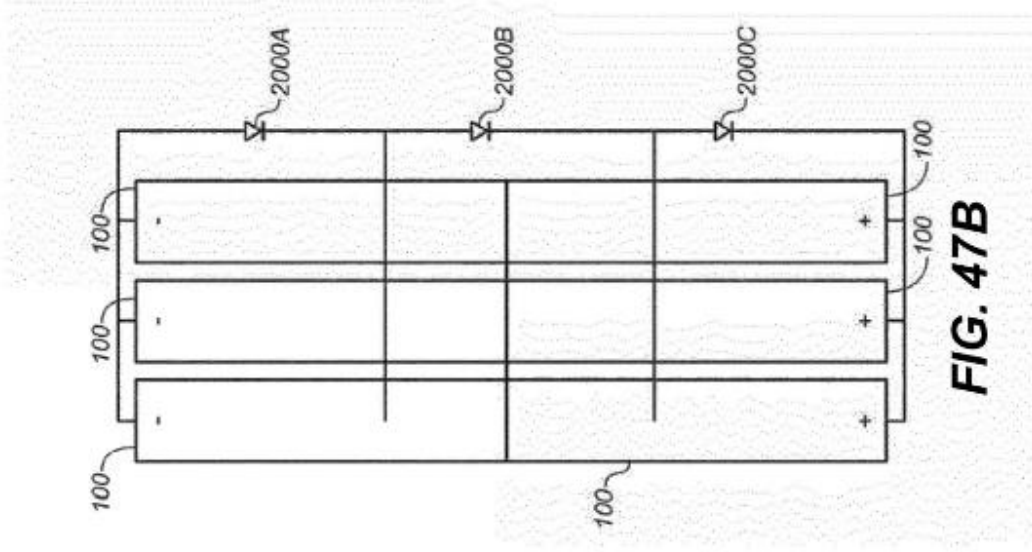


FIG. 47B

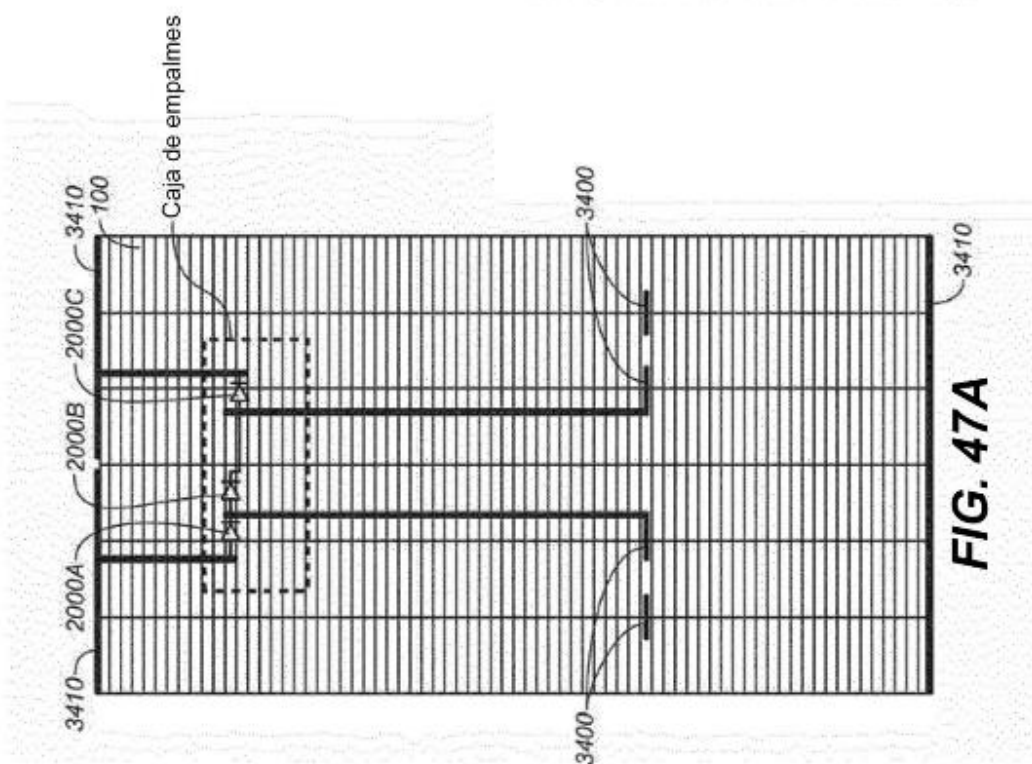


FIG. 47A

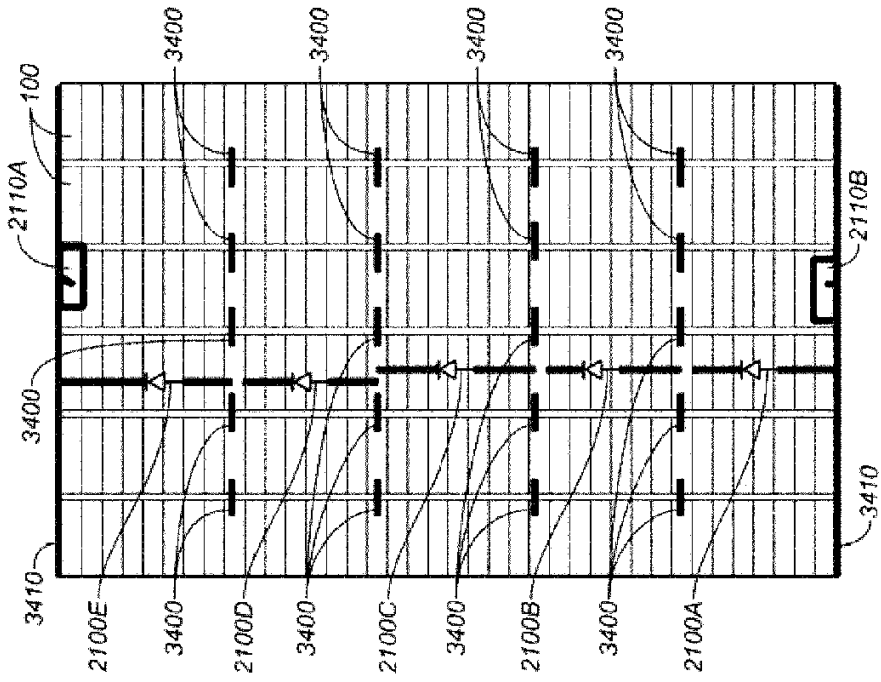


FIG. 48B

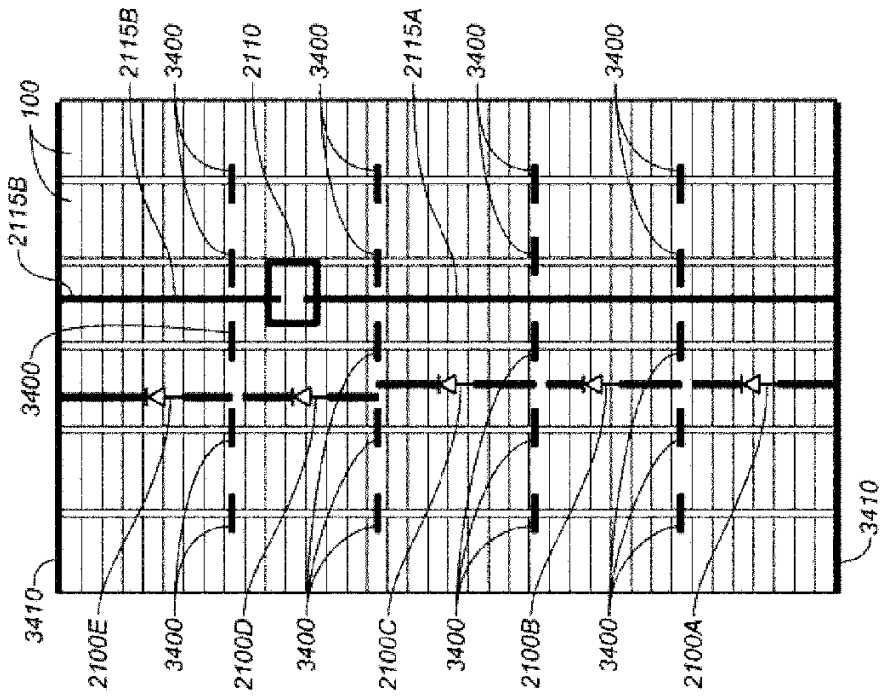


FIG. 48A

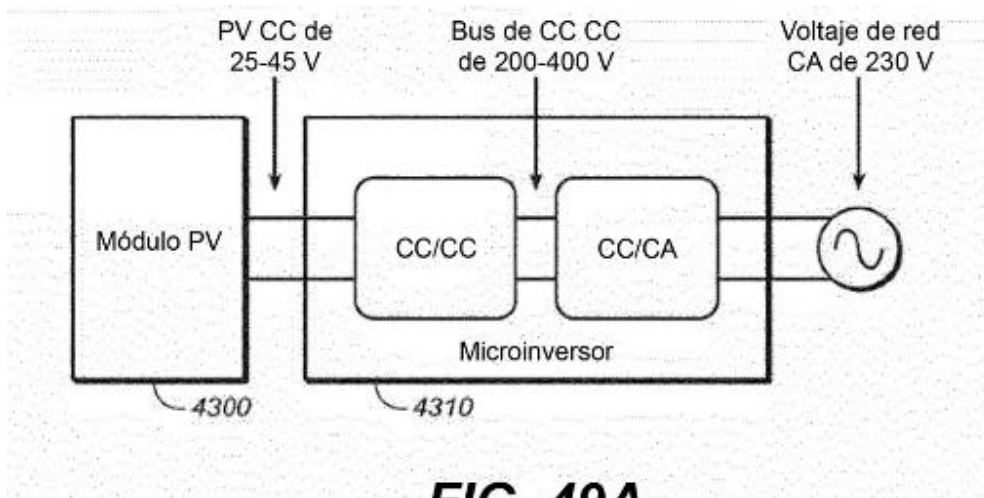


FIG. 49A

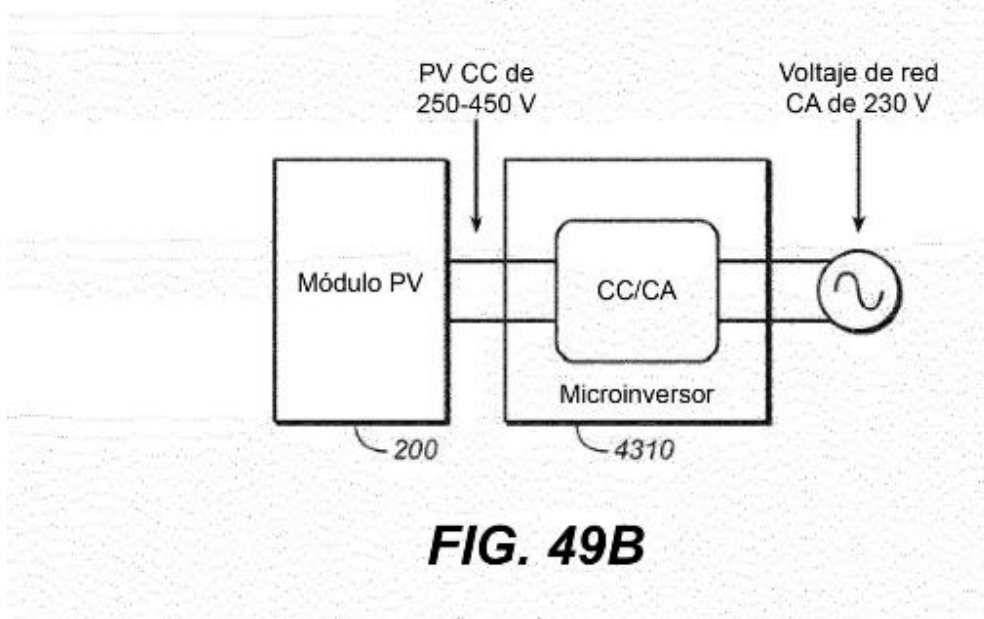


FIG. 49B

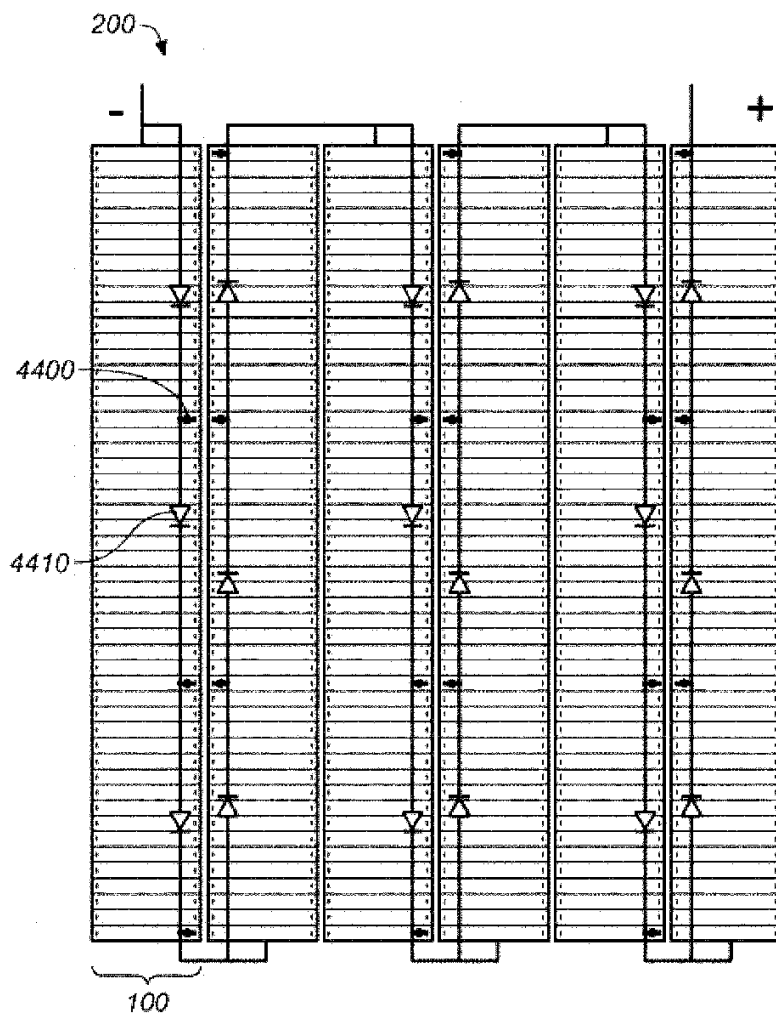


FIG. 50A

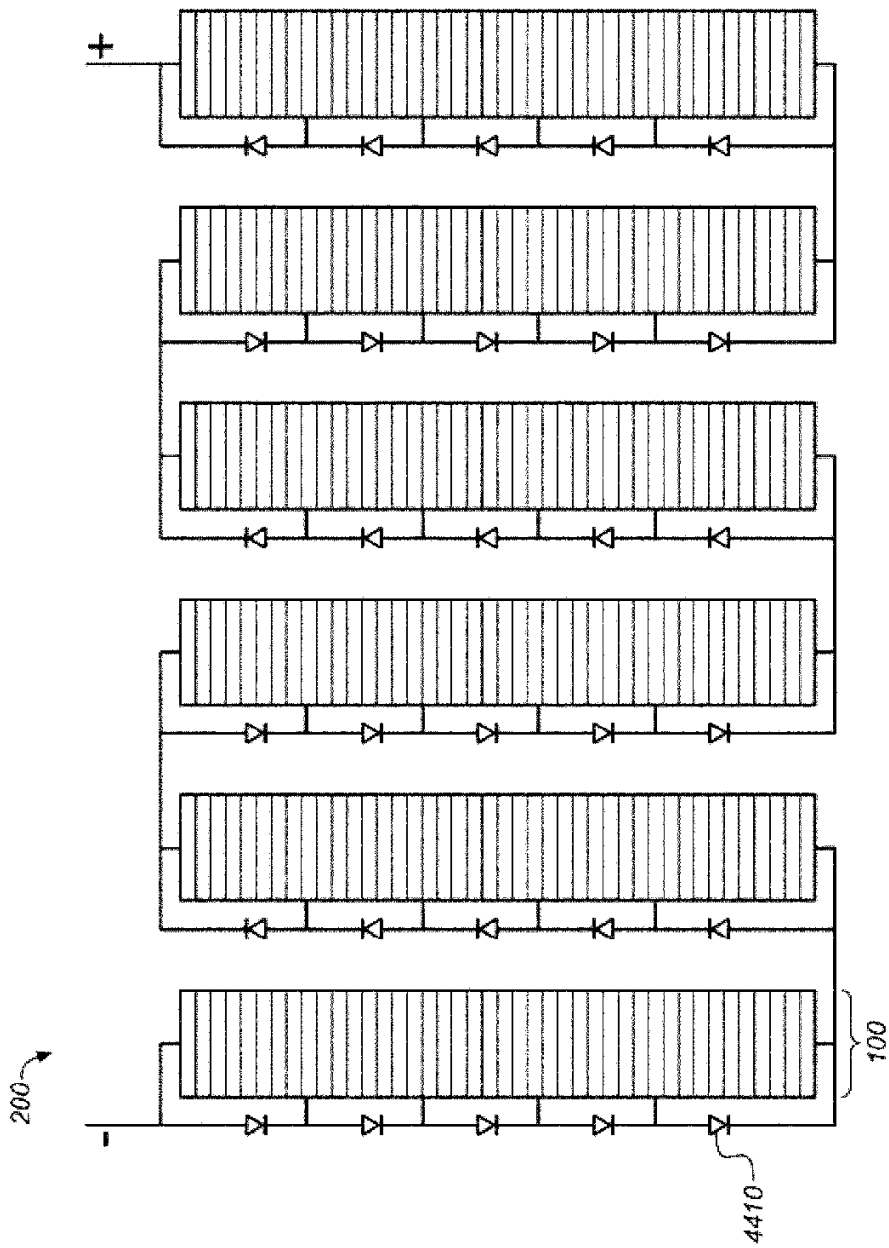


FIG. 50B

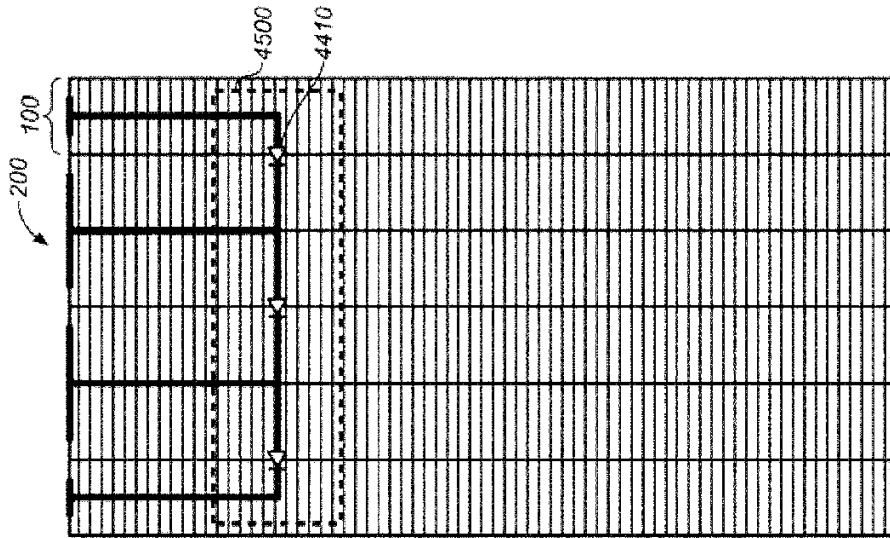


FIG. 51A

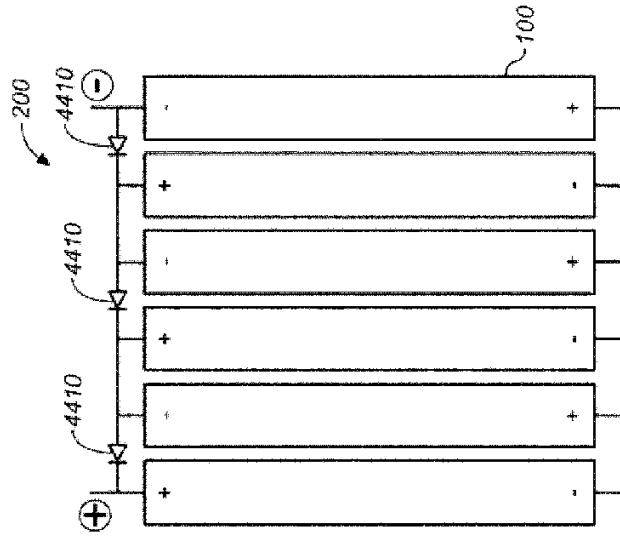
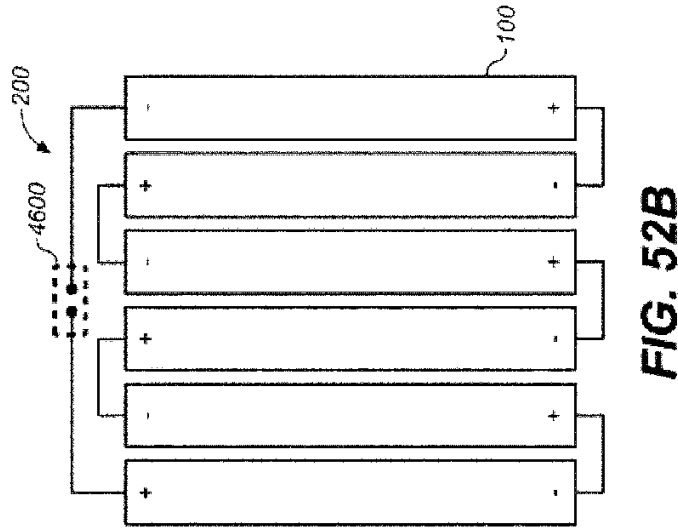
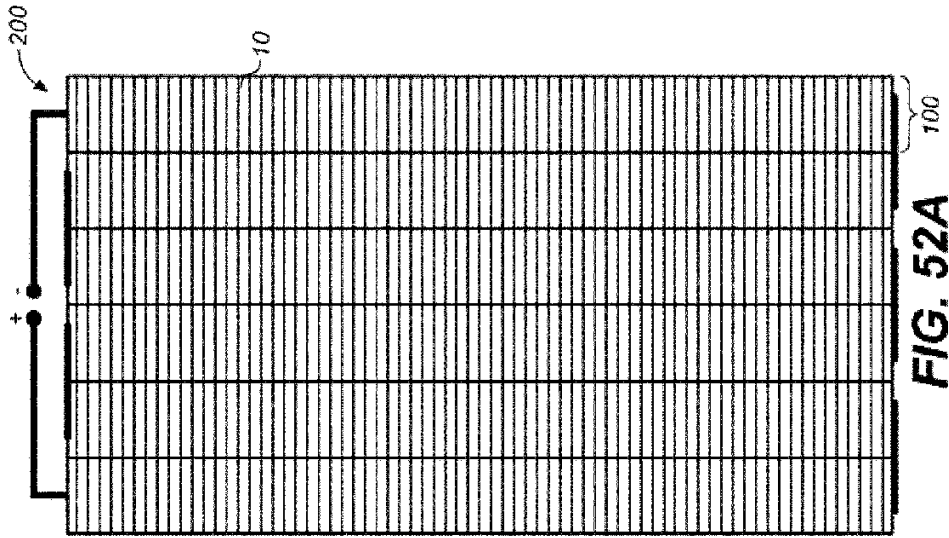


FIG. 51B



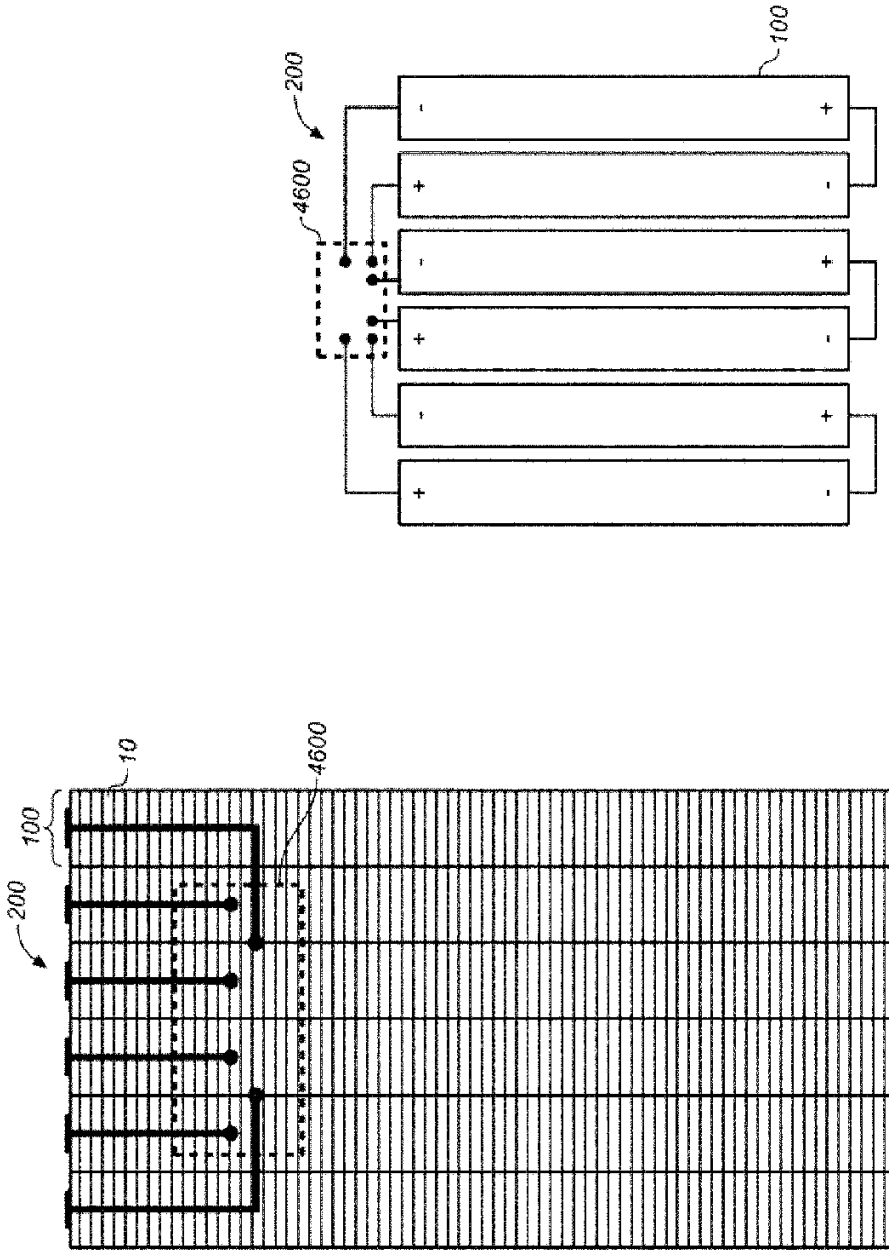


FIG. 53B

FIG. 53A

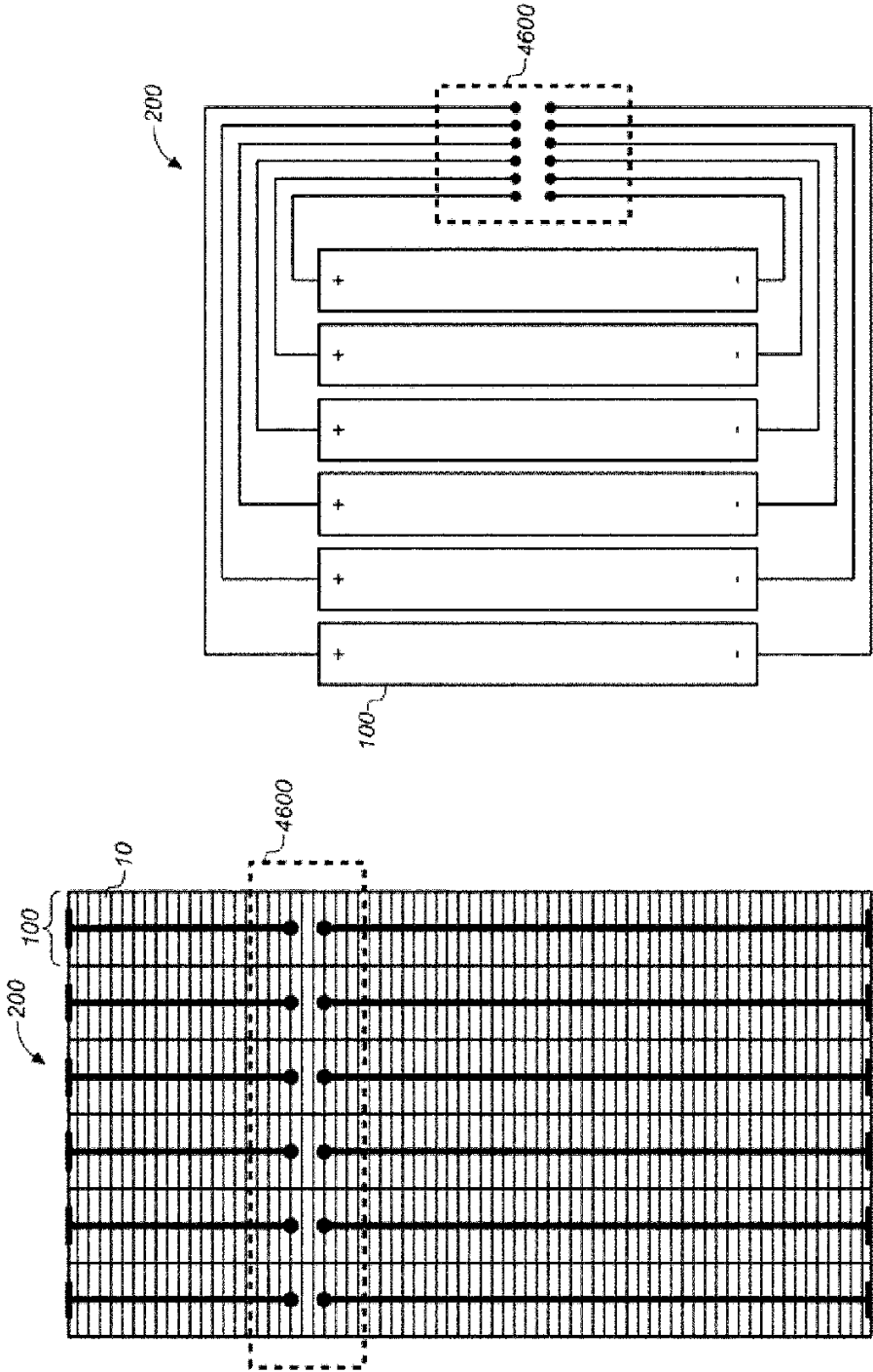


FIG. 54B

FIG. 54A

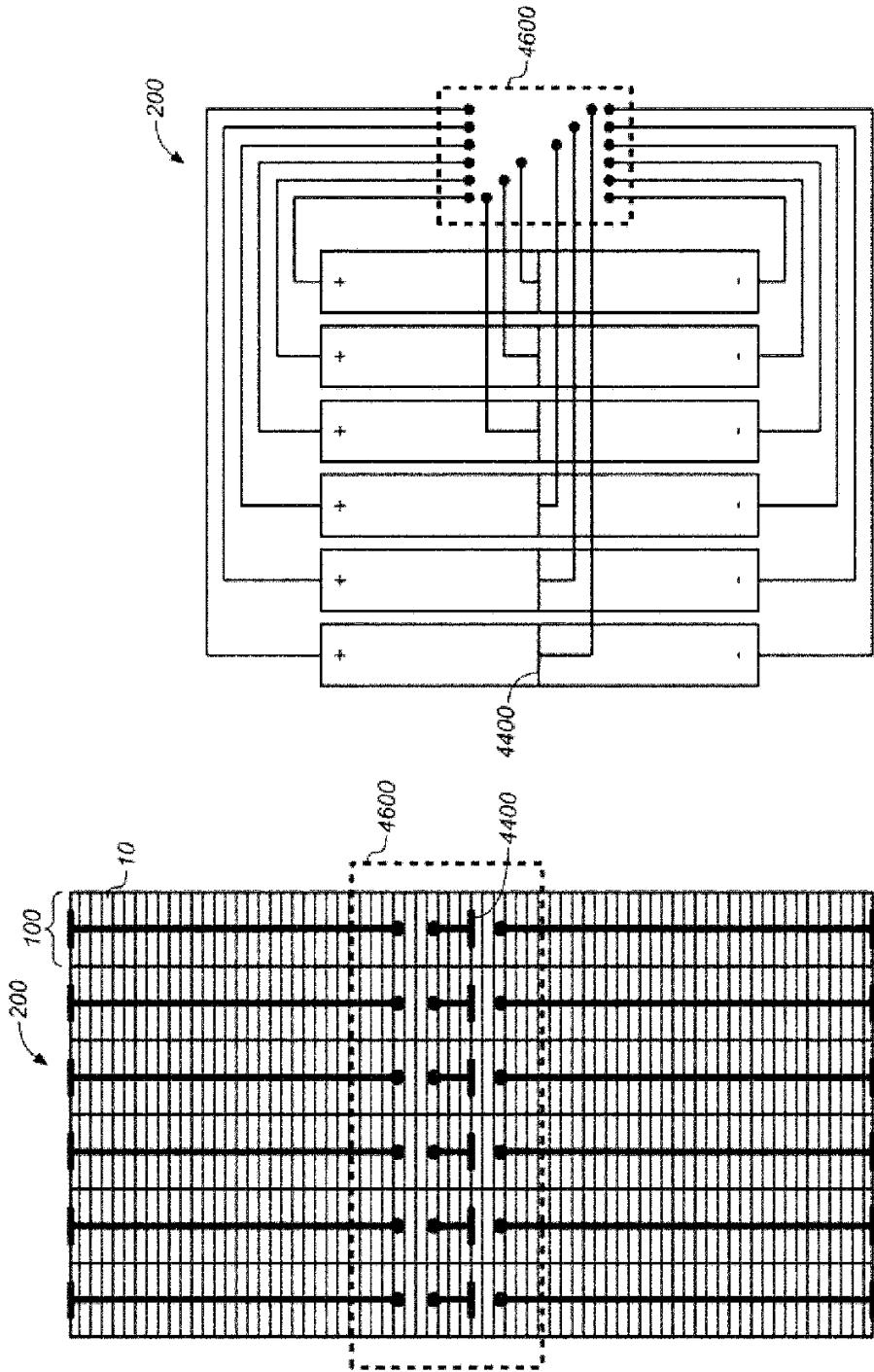


FIG. 55B

FIG. 55A

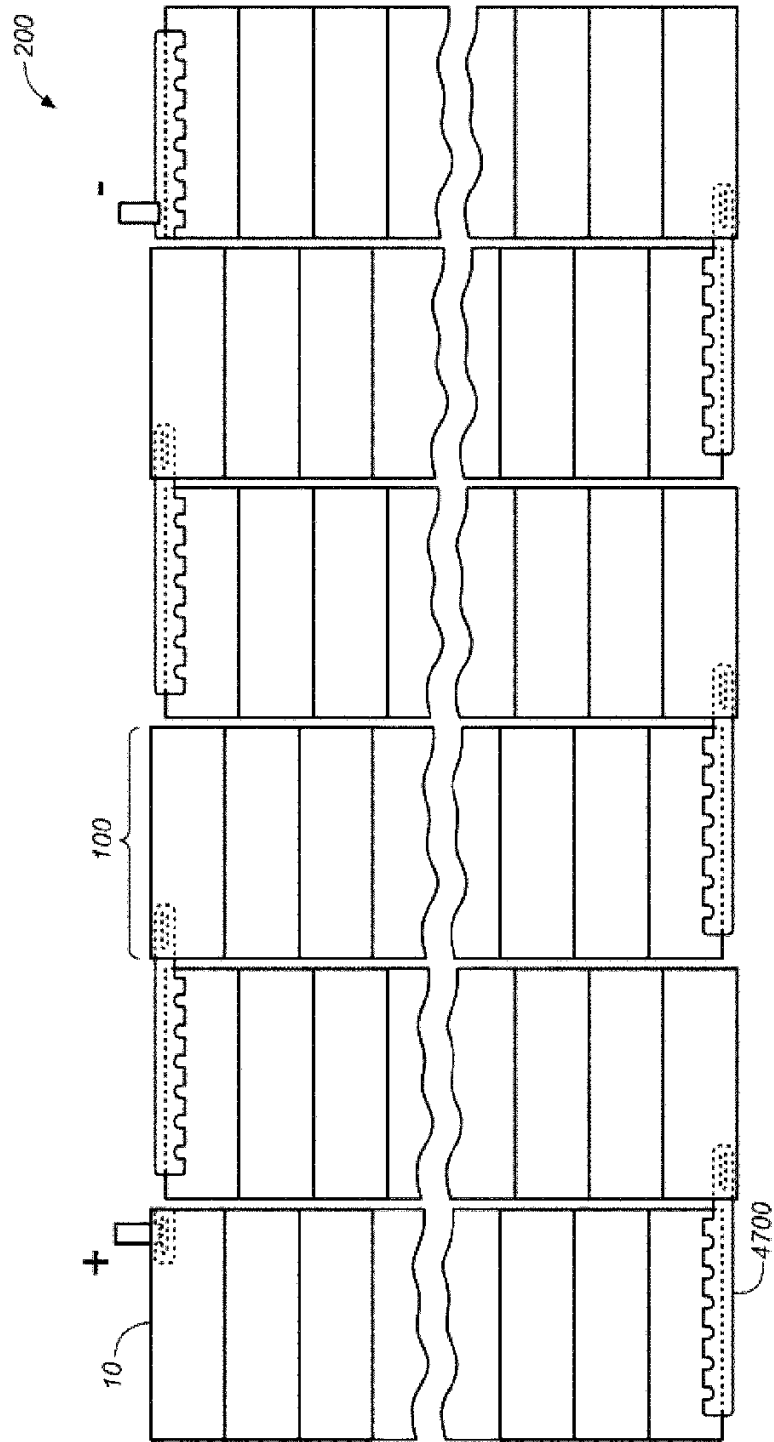


FIG. 56

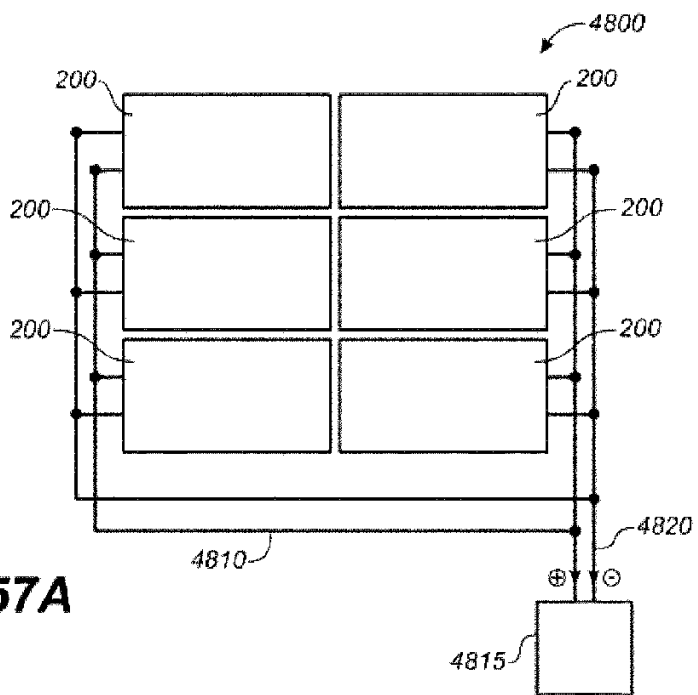


FIG. 57A

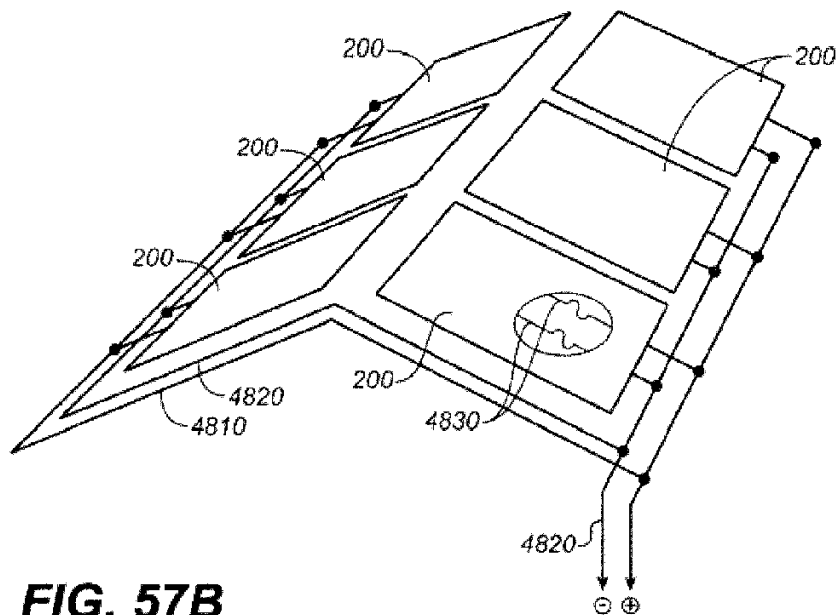


FIG. 57B

FIG. 58A

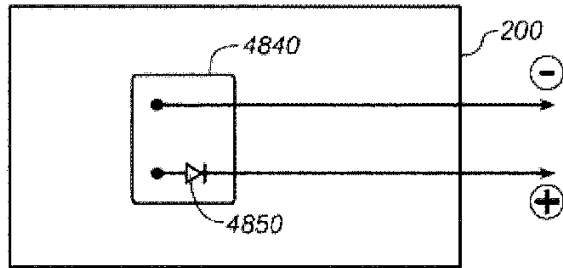


FIG. 58B

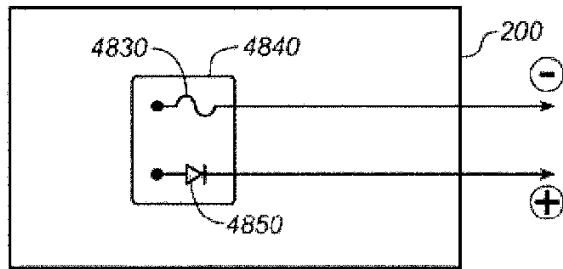


FIG. 58C

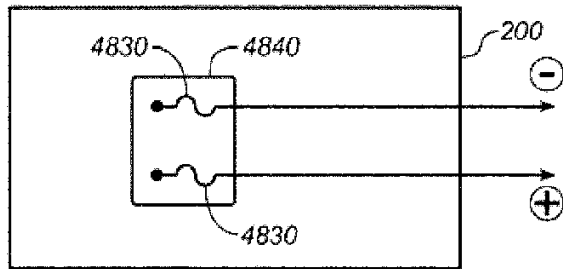
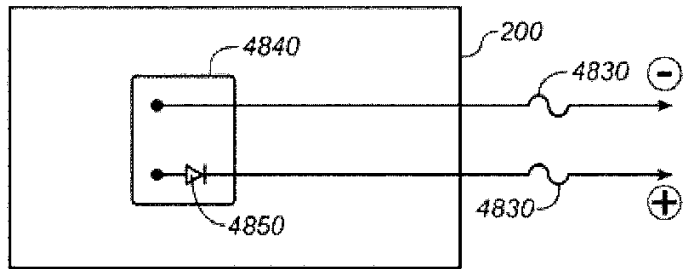


FIG. 58D



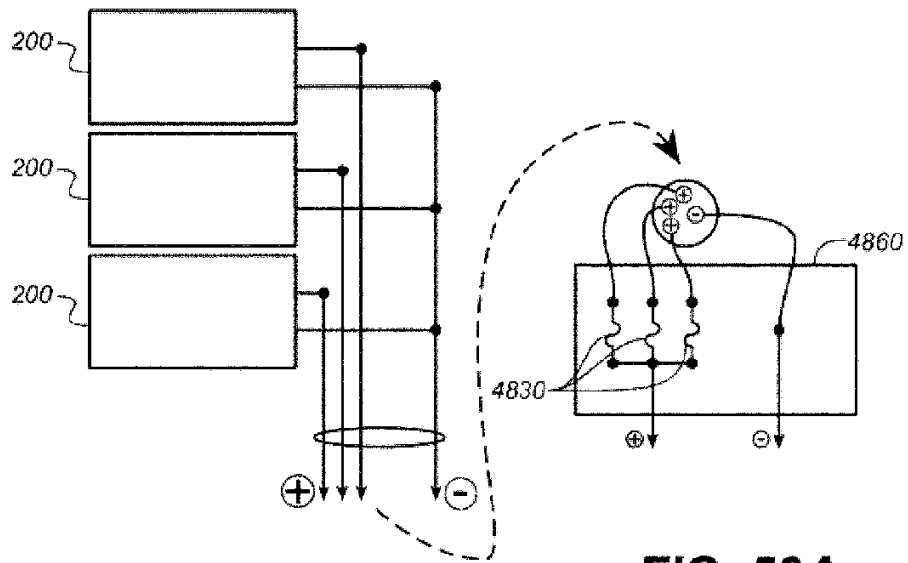


FIG. 59A

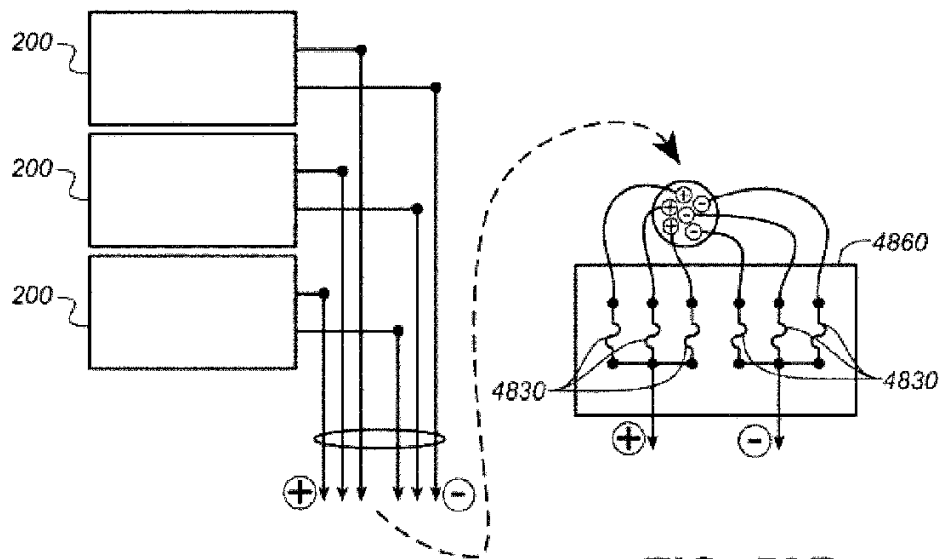


FIG. 59B

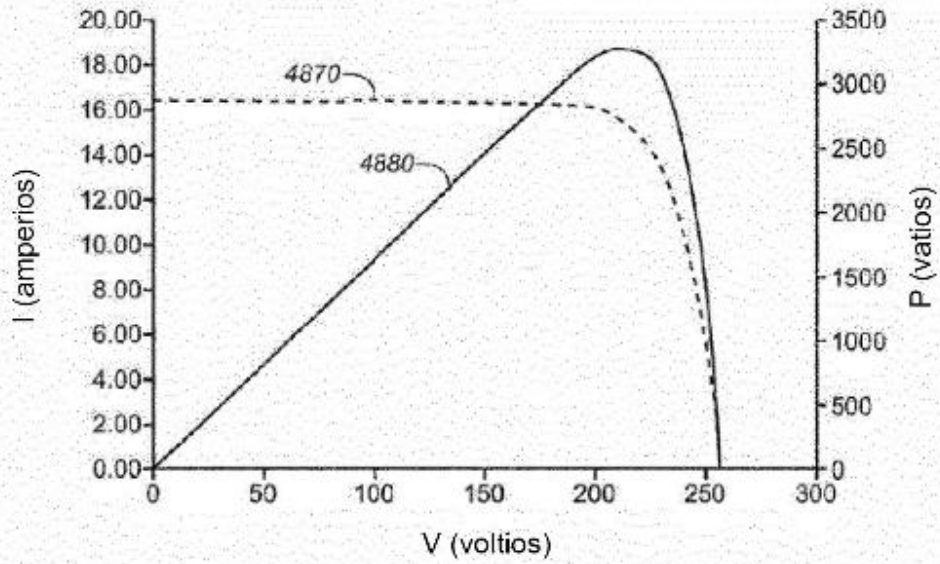


FIG. 60A

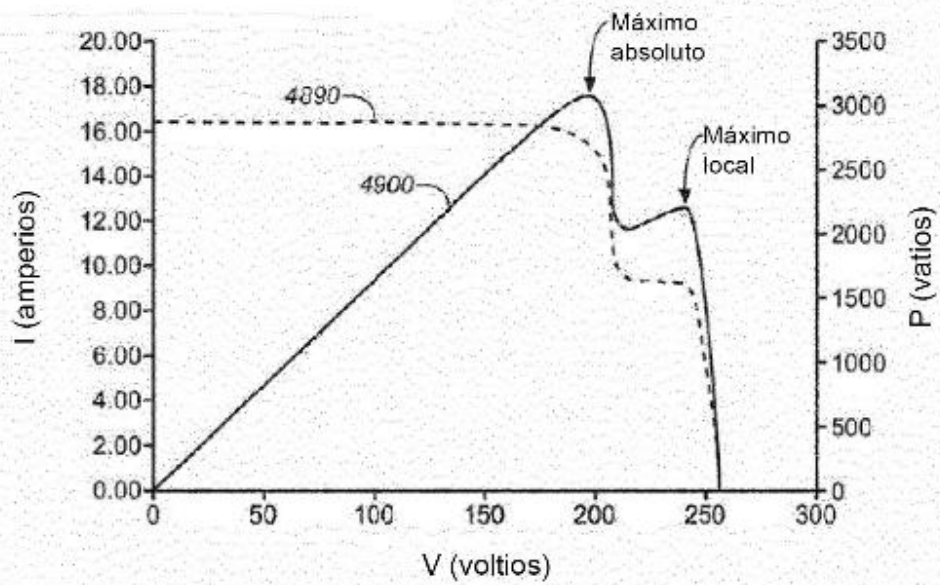
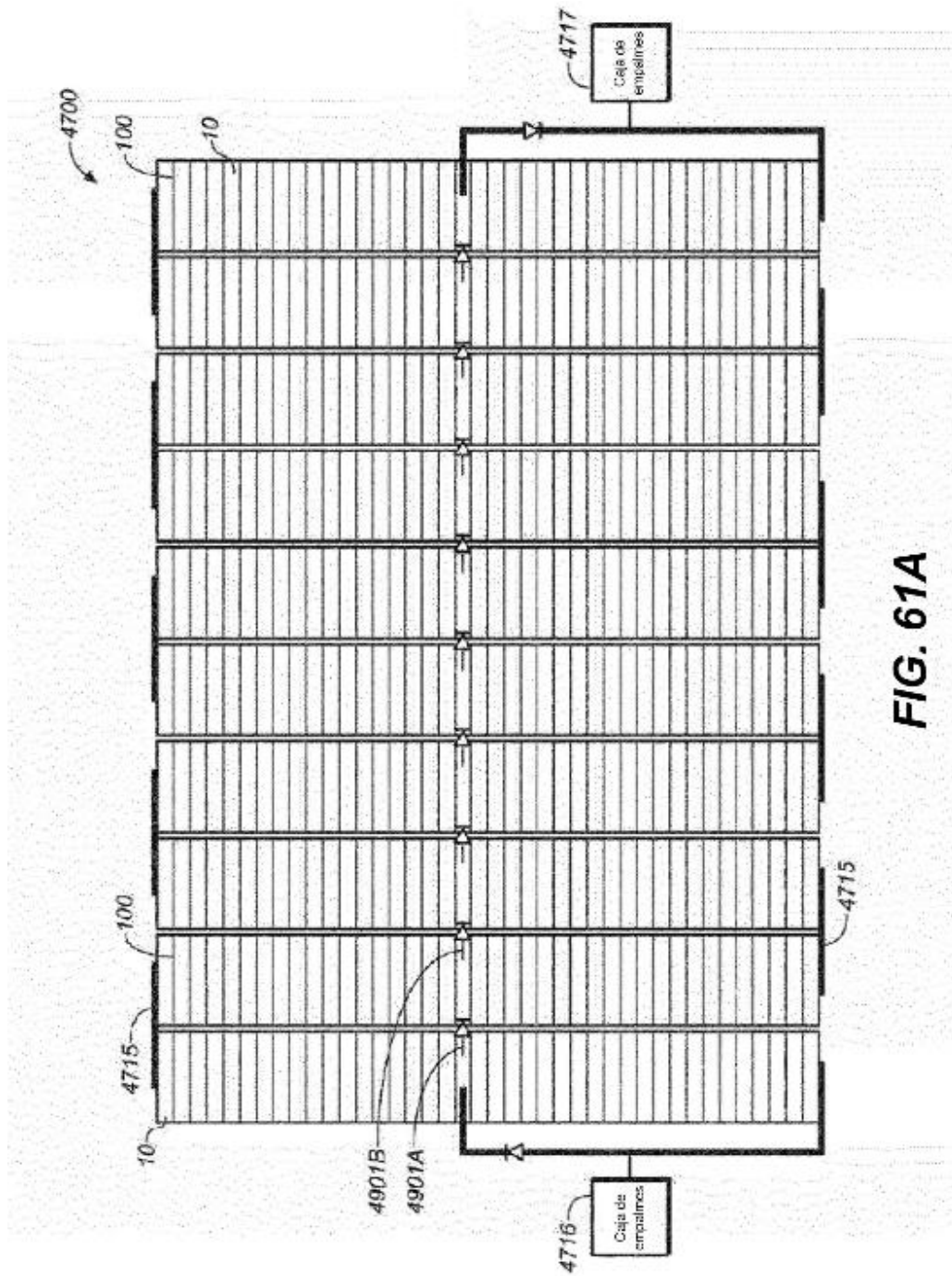


FIG. 60B



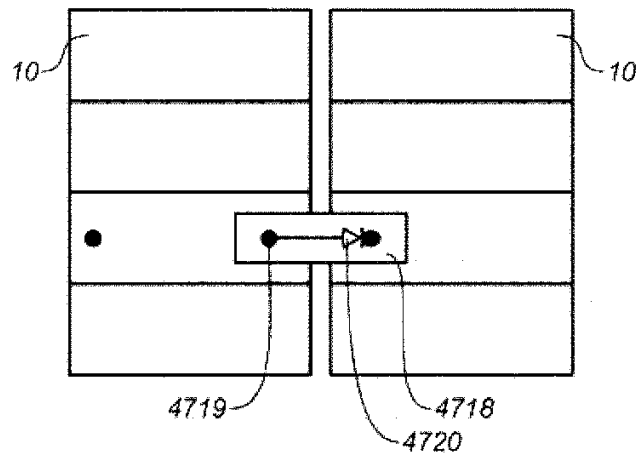


FIG. 61B

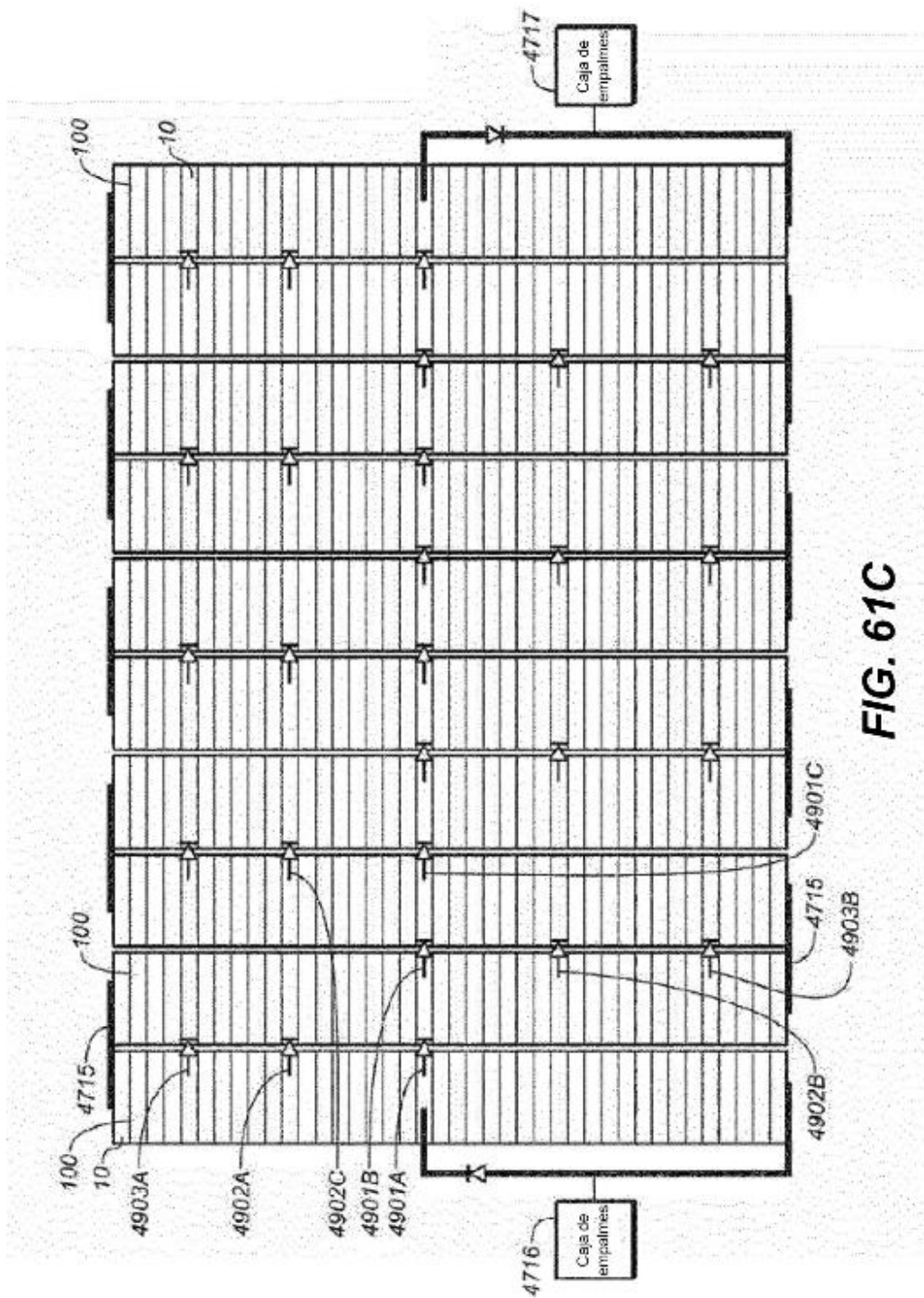
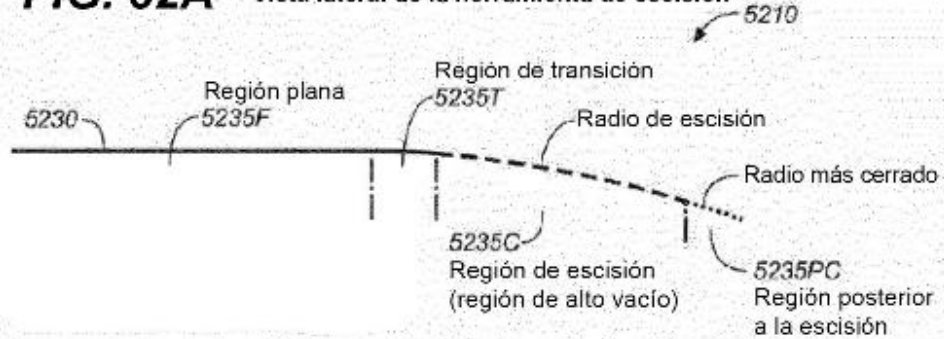


FIG. 61C

FIG. 62A Vista lateral de la herramienta de escisión



Vista superior de la herramienta de escisión

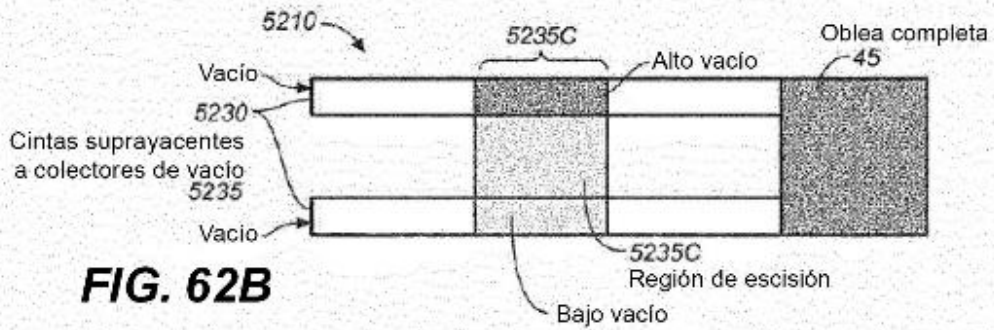


FIG. 62B

FIG. 63A

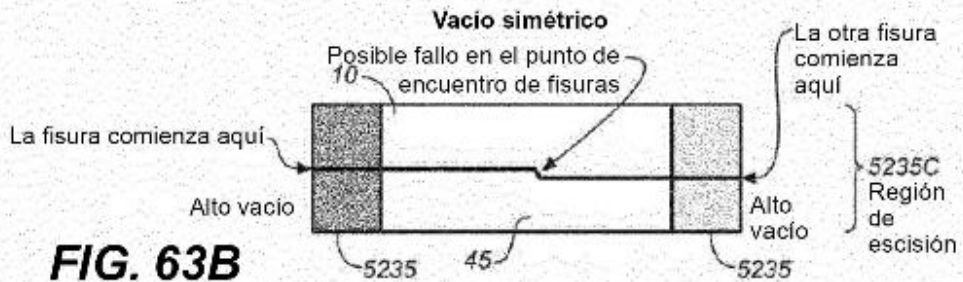
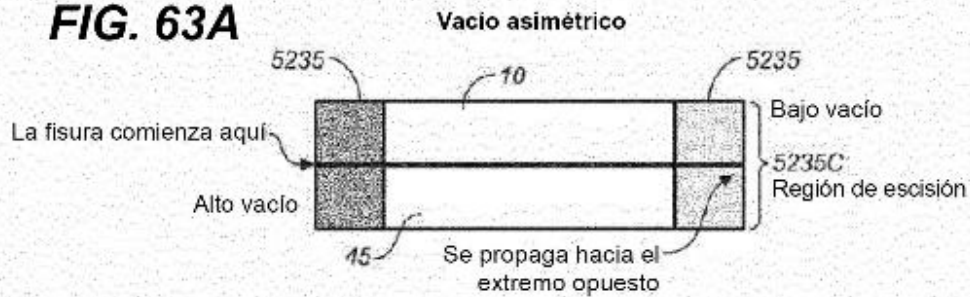
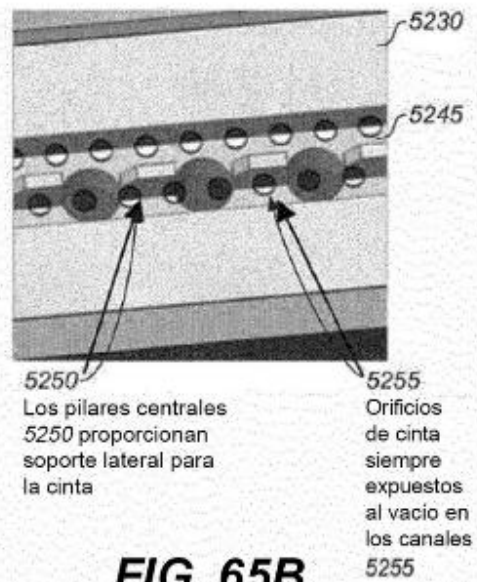
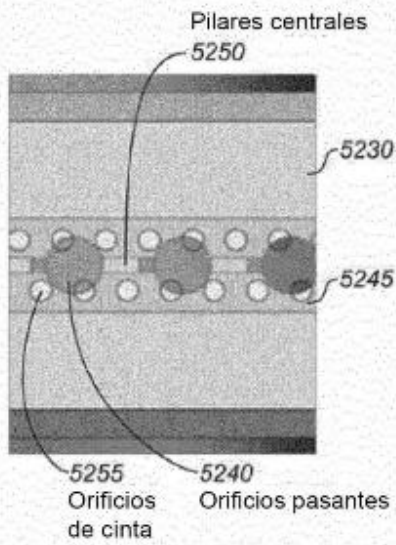
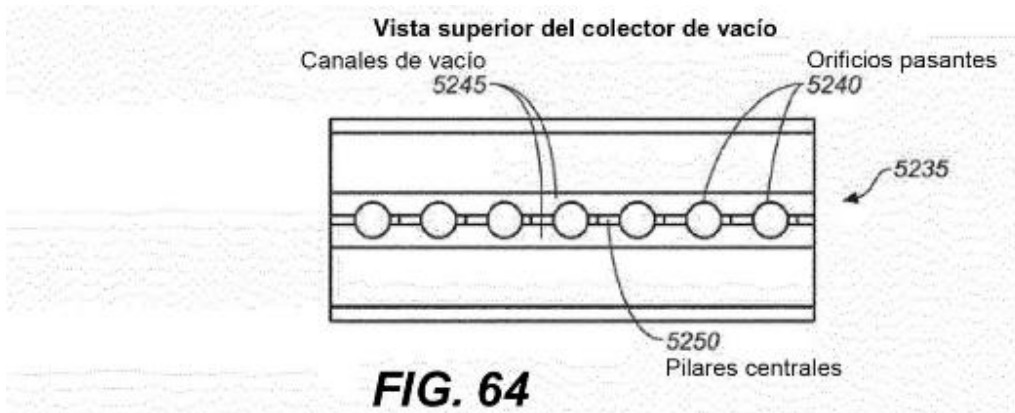
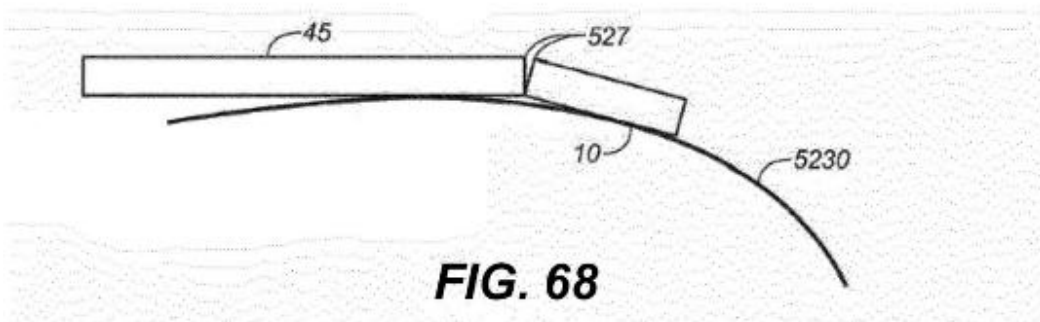
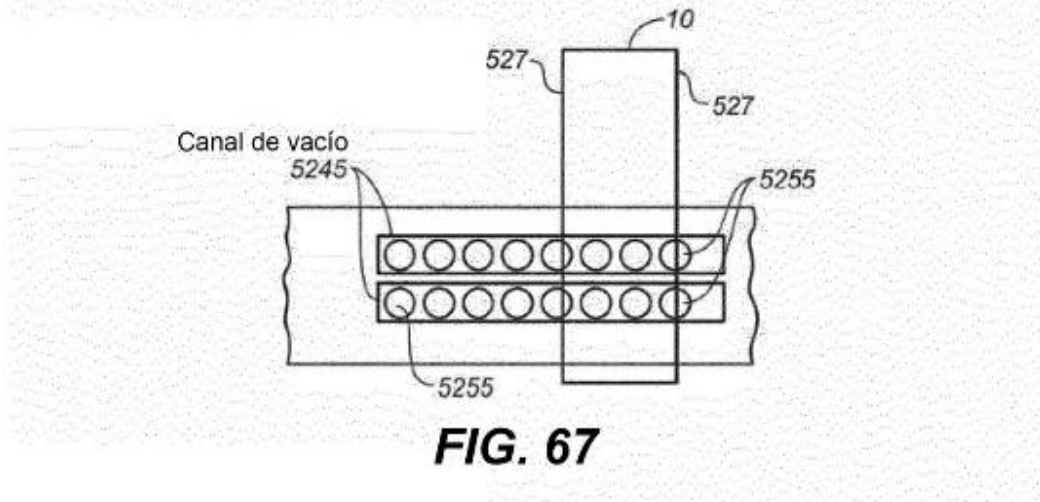
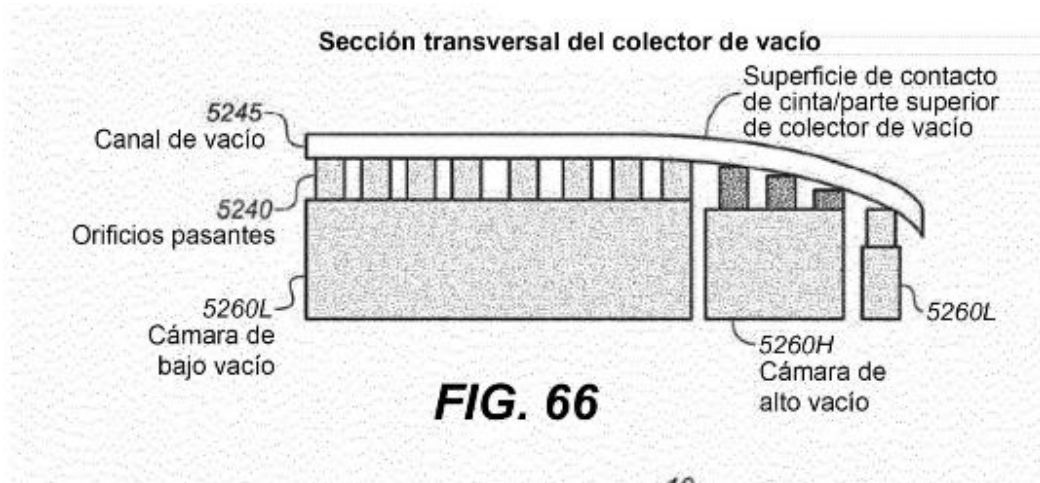
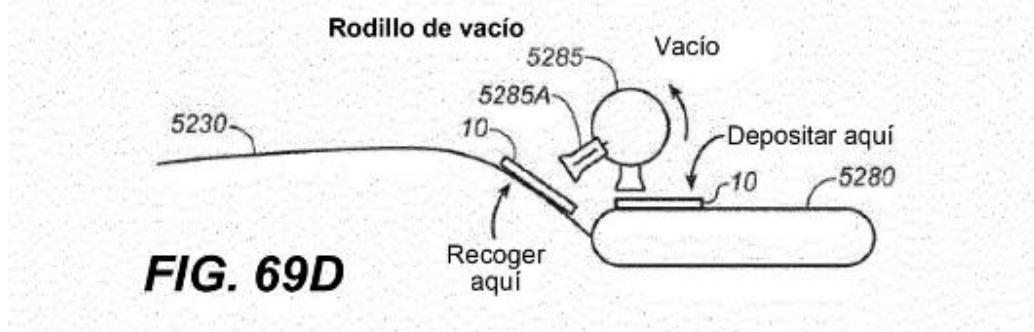
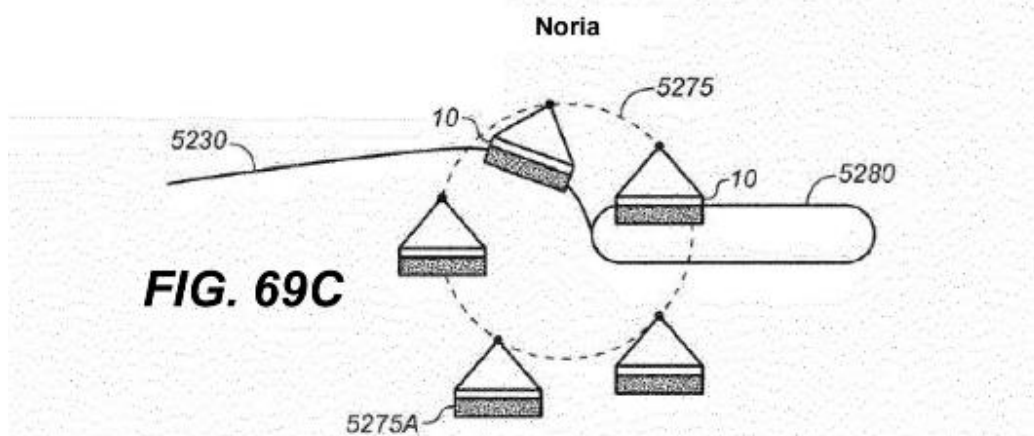
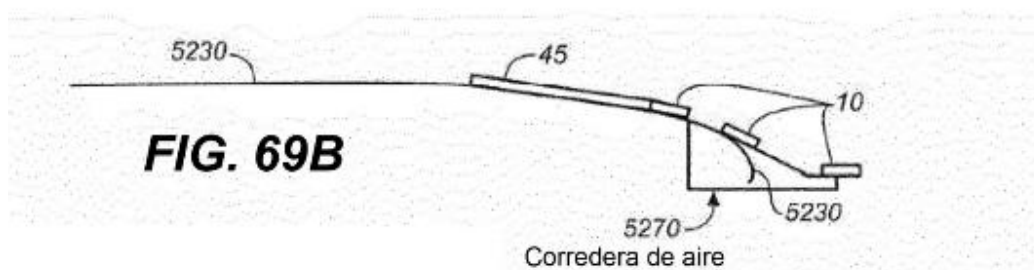
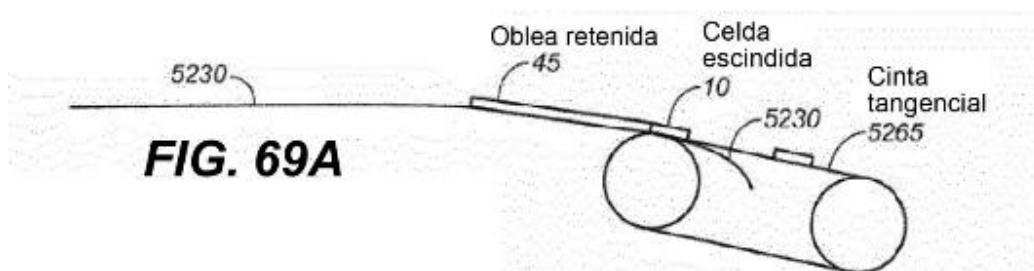
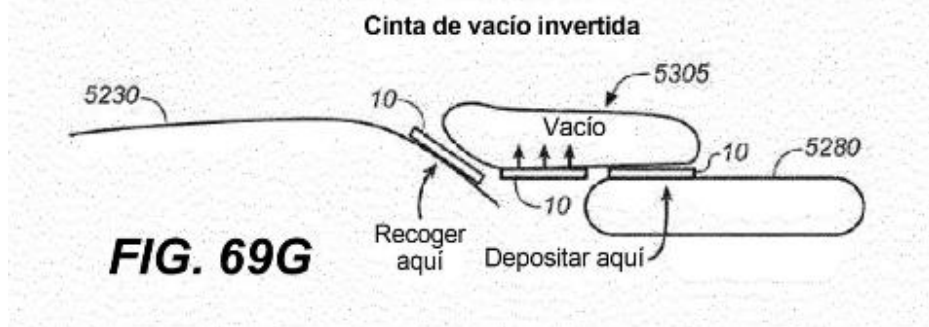
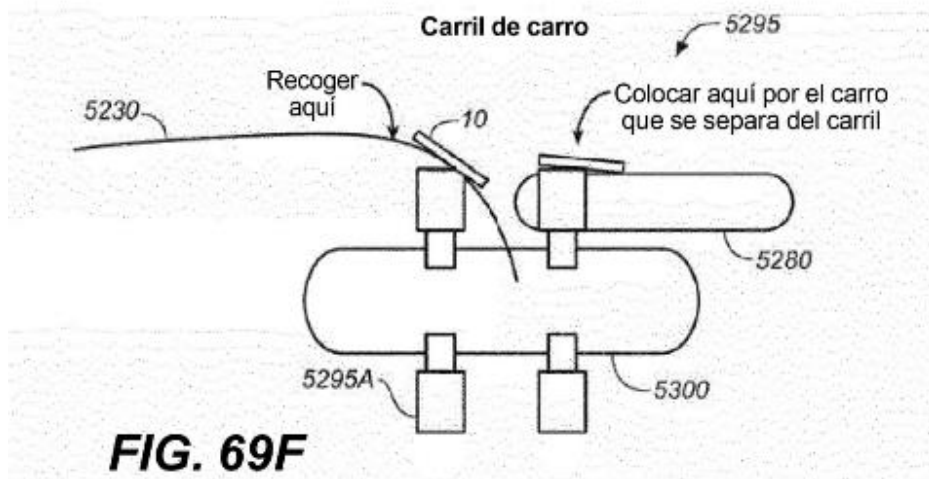
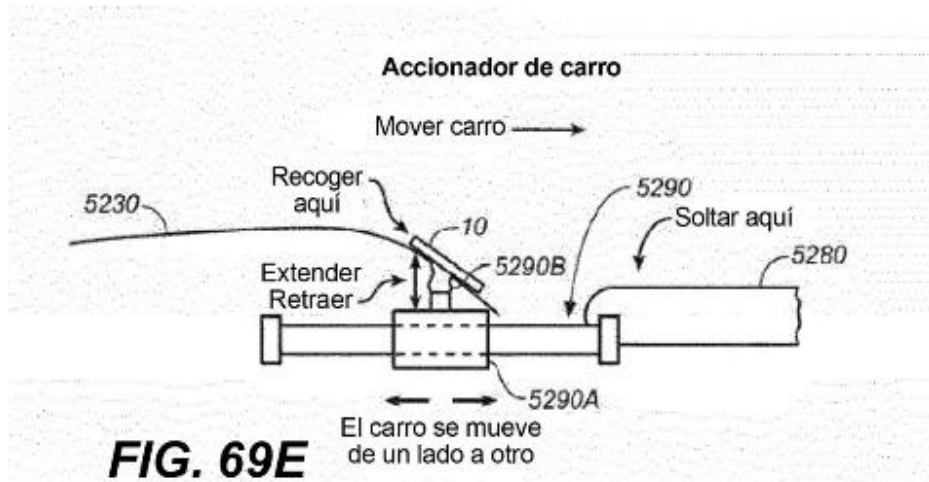


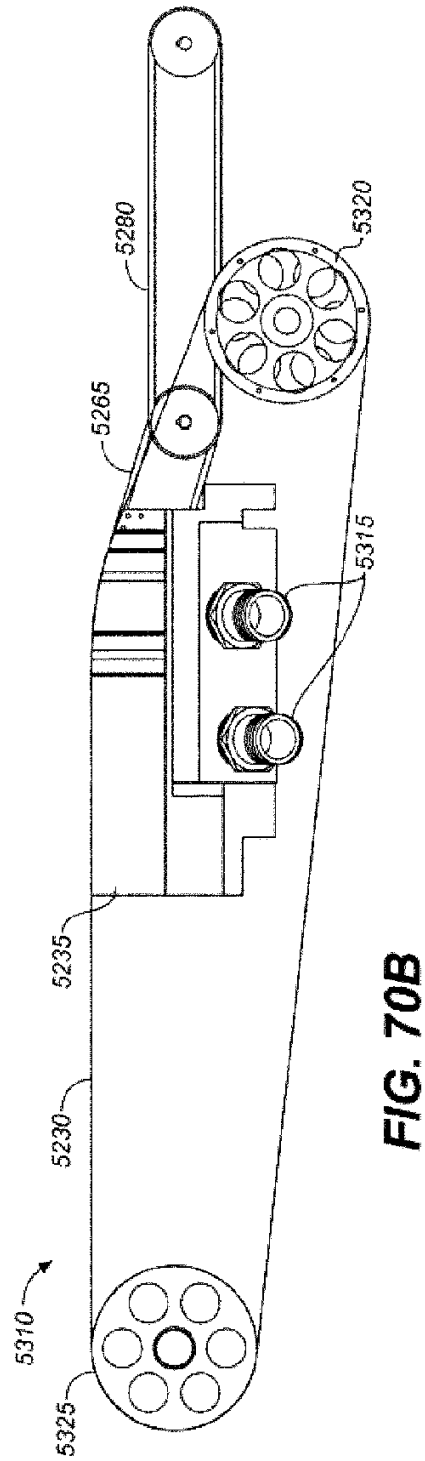
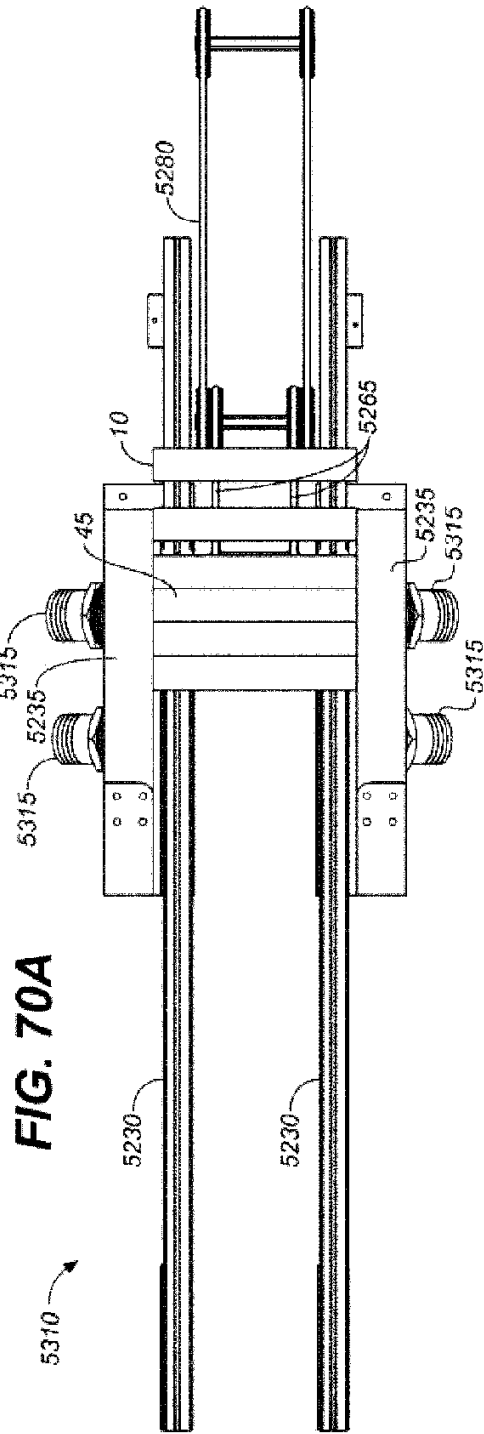
FIG. 63B











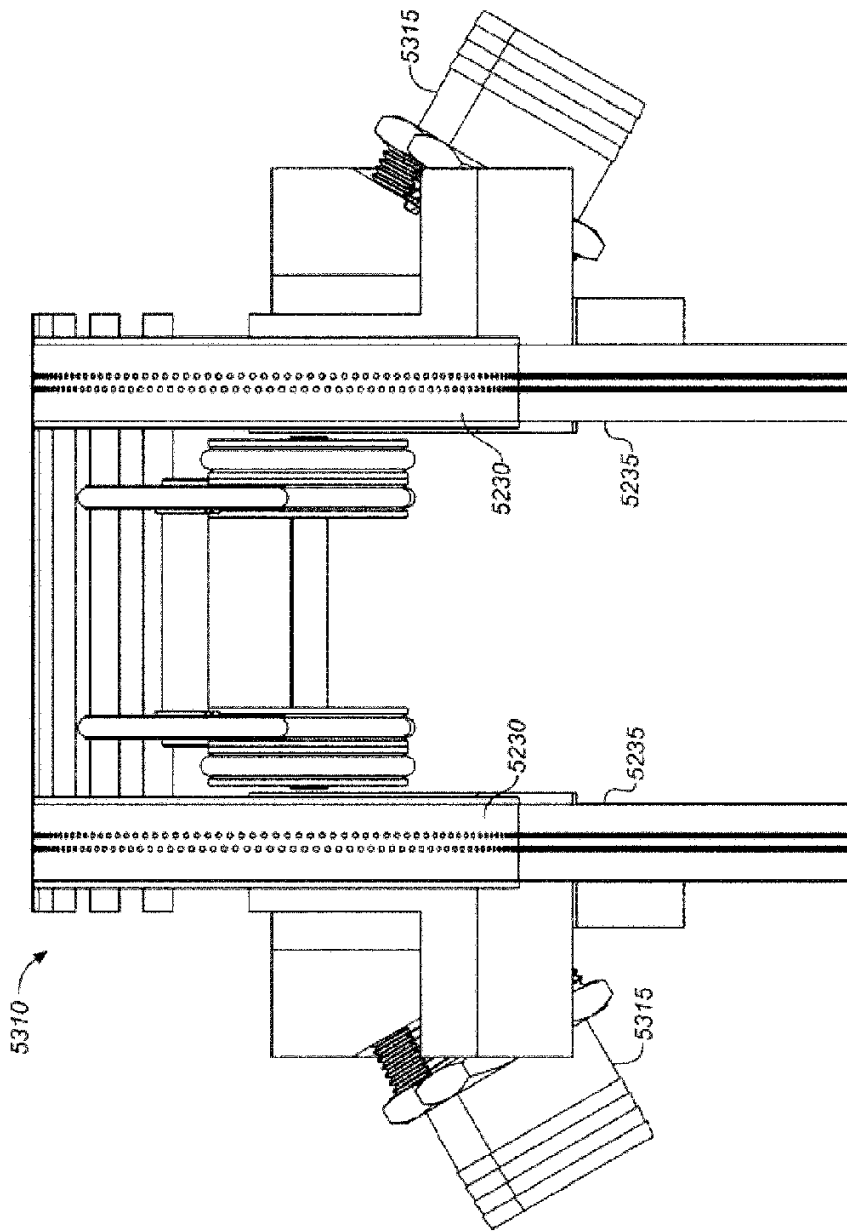


FIG. 70C

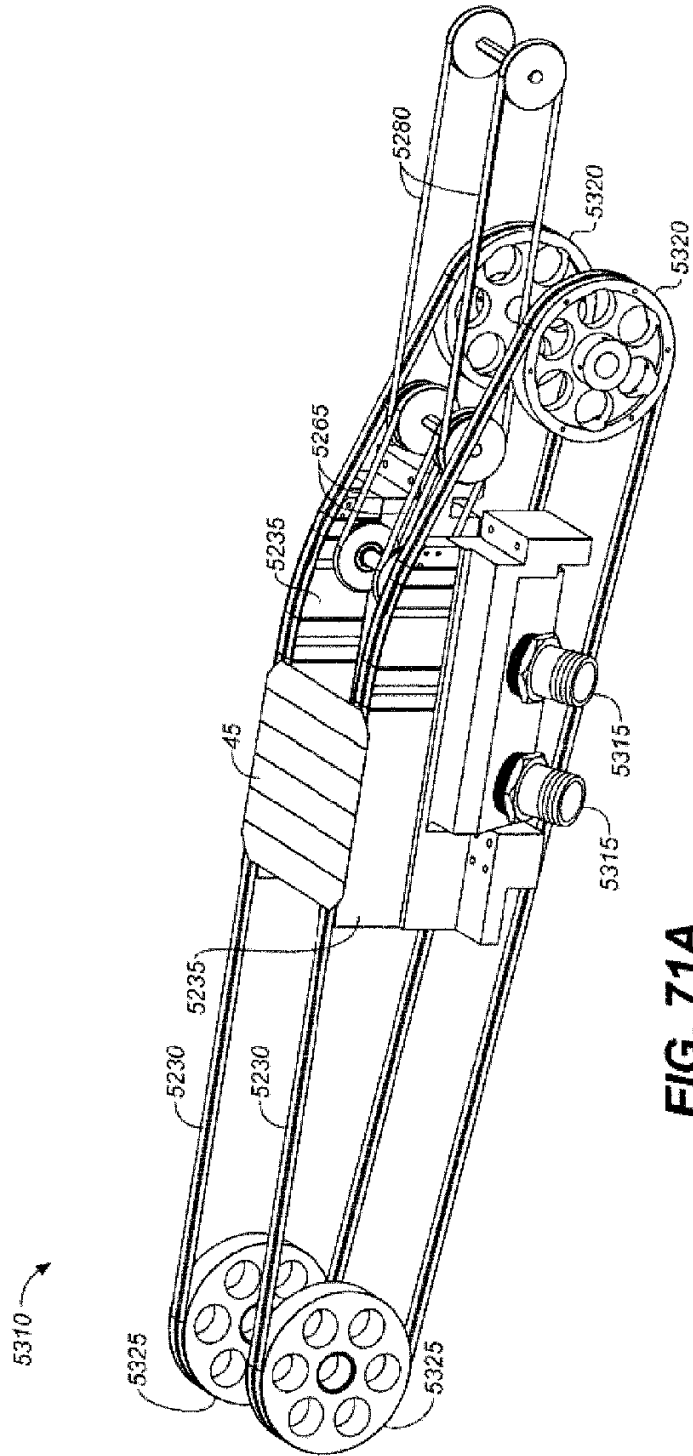


FIG. 71A

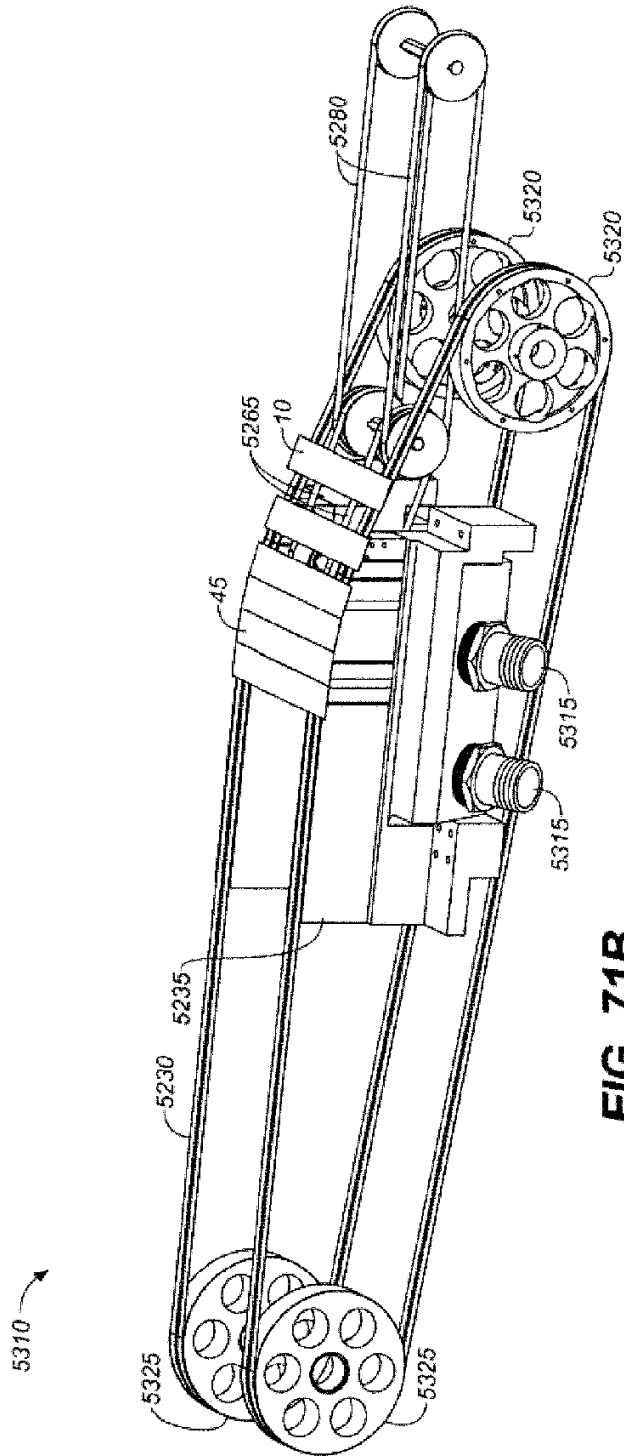


FIG. 71B

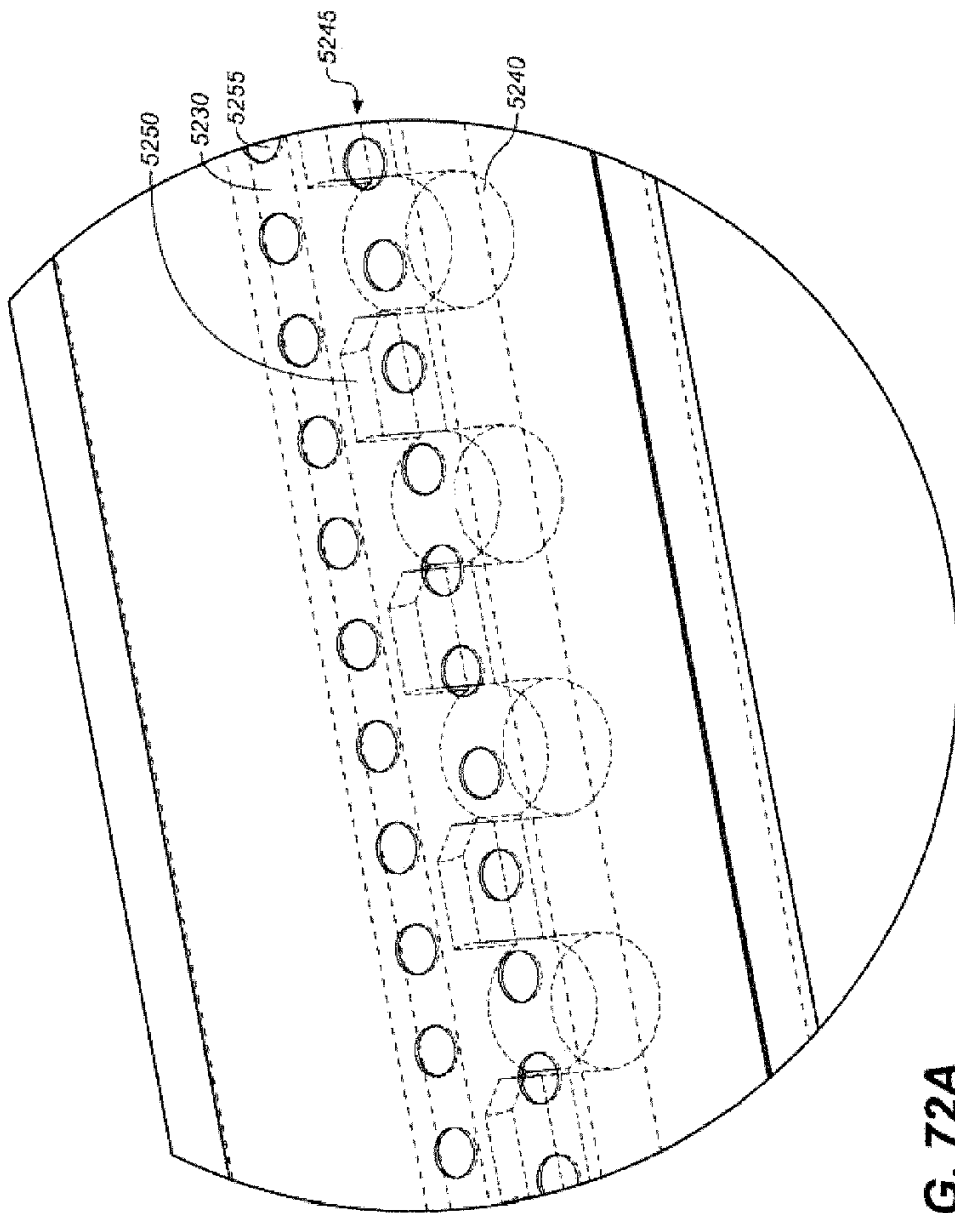


FIG. 72A

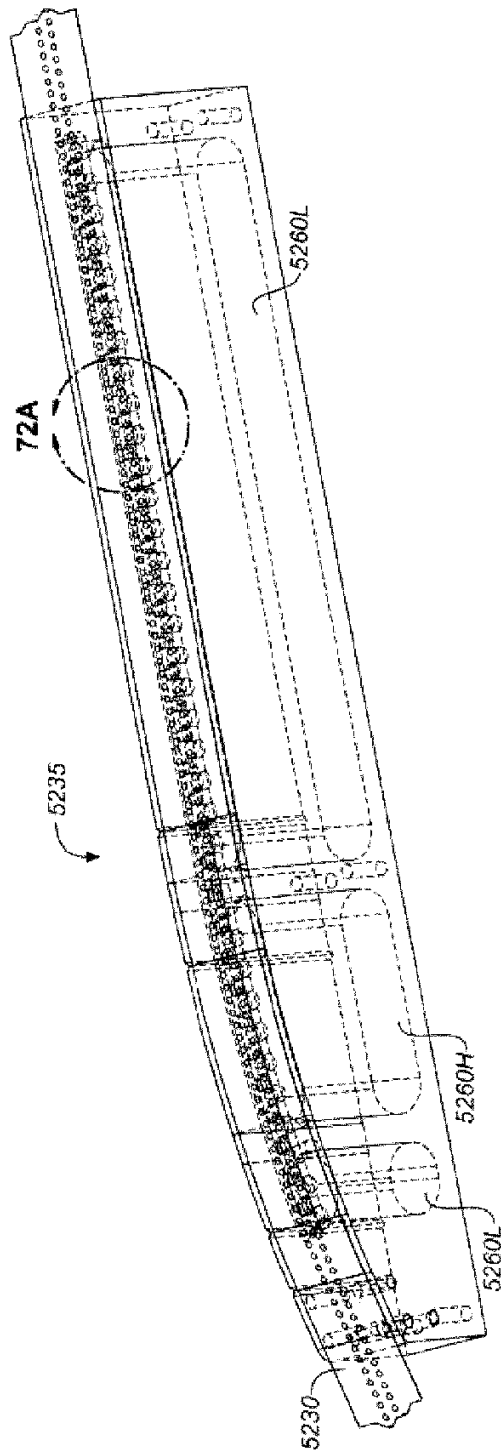


FIG. 72B

FIG. 73A

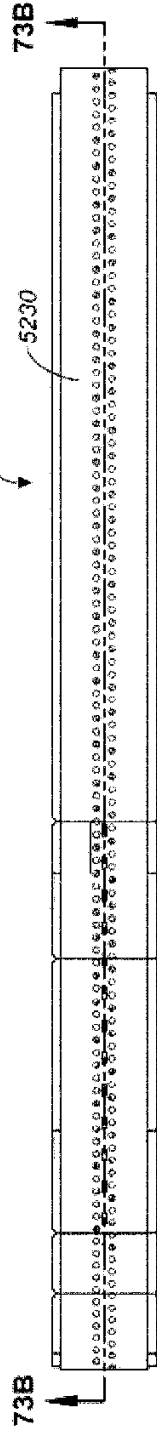
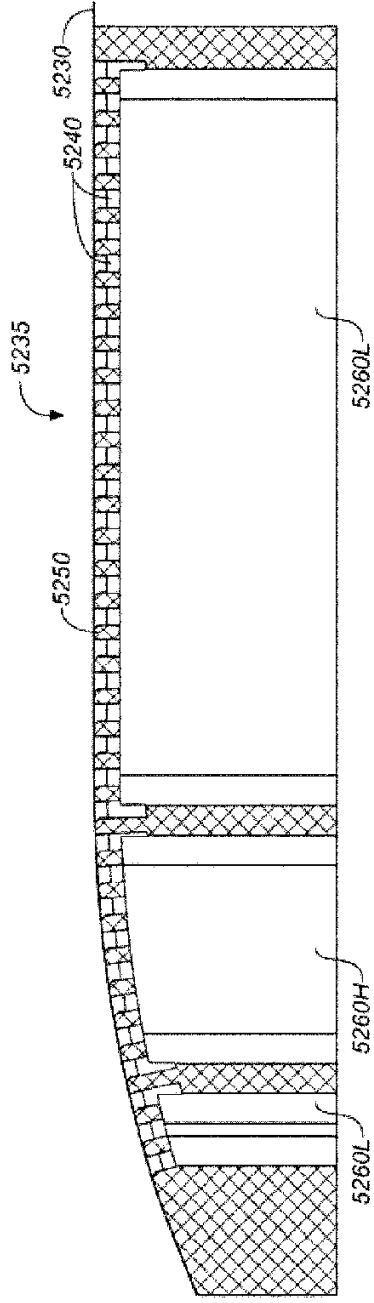


FIG. 73B



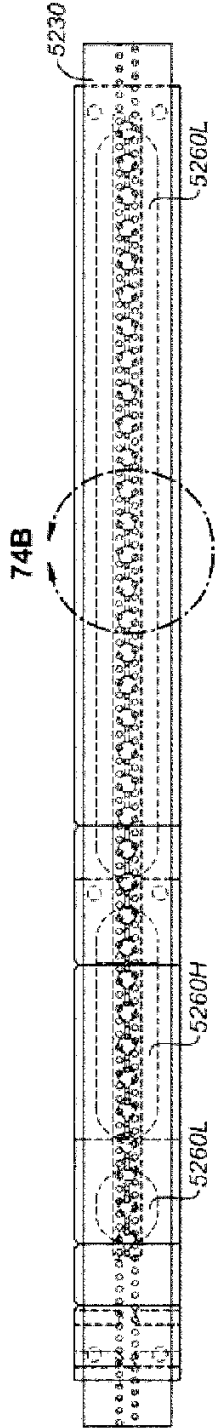


FIG. 74A

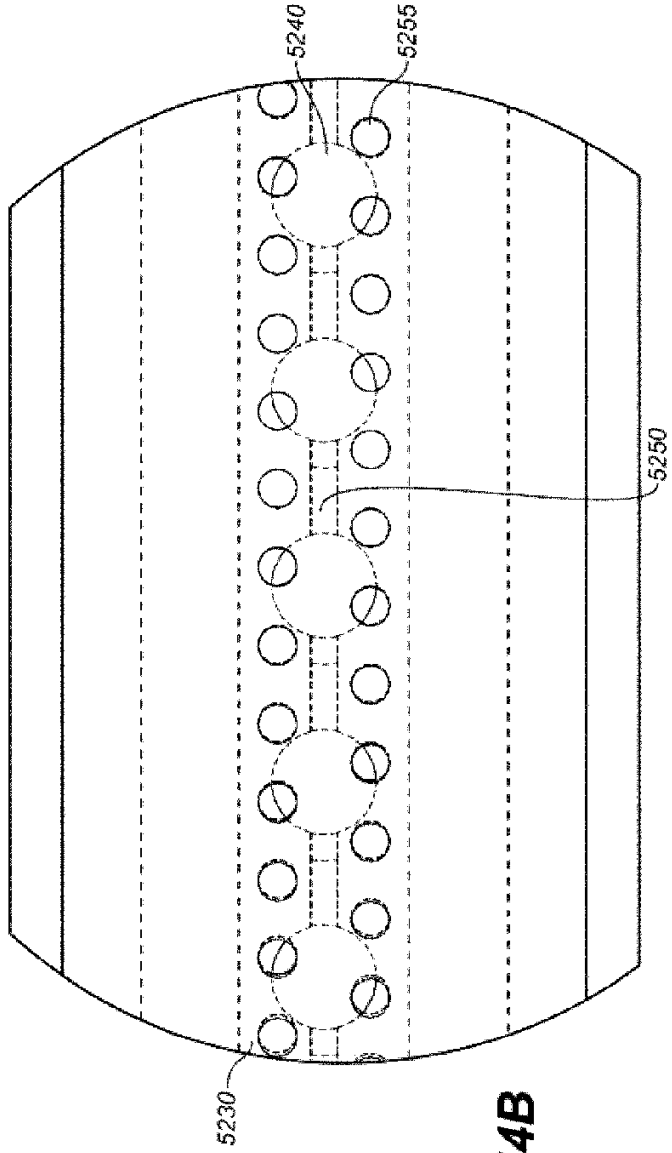


FIG. 74B

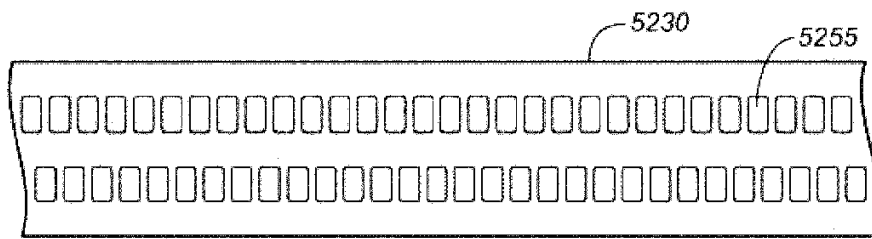


FIG. 75A

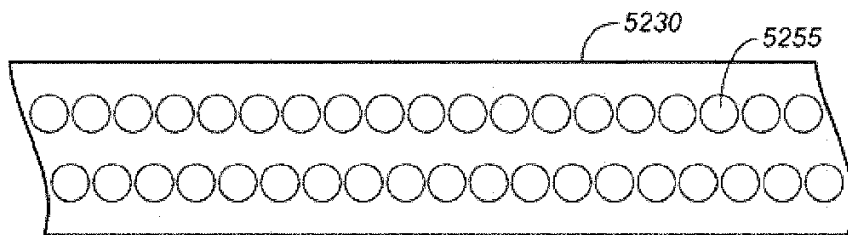


FIG. 75B

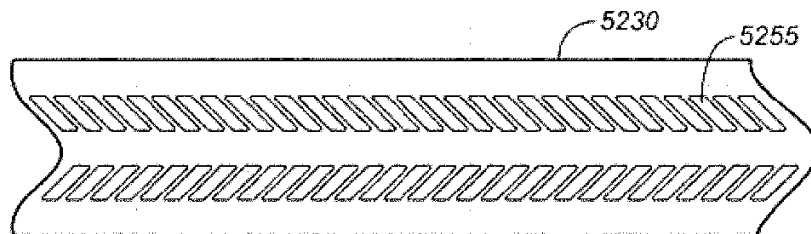


FIG. 75C

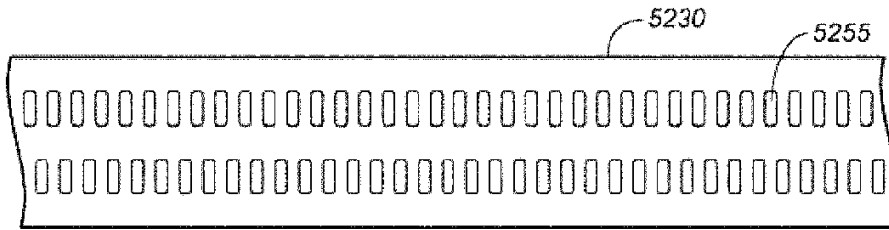


FIG. 75D

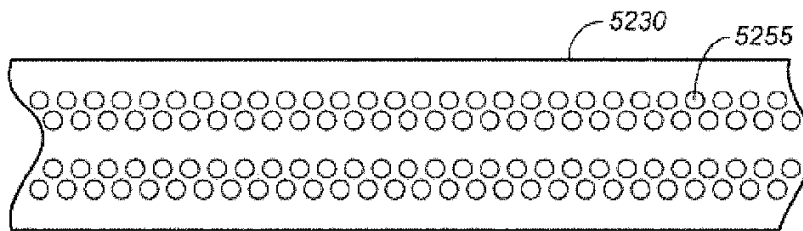


FIG. 75E

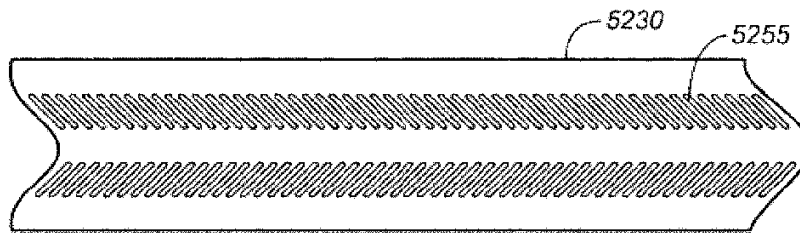


FIG. 75F

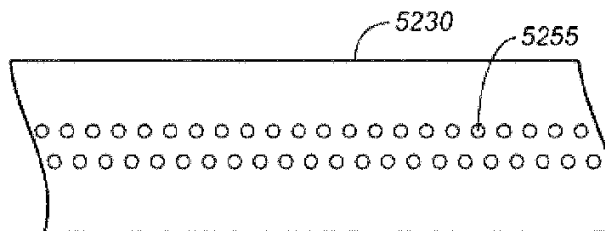


FIG. 75G

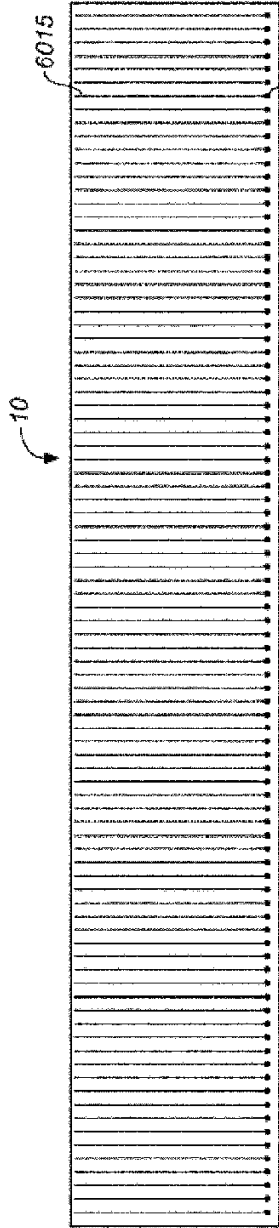


FIG. 76

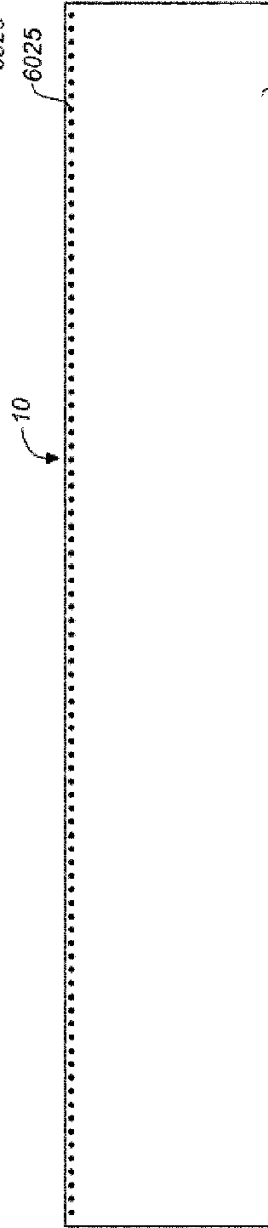


FIG. 77A

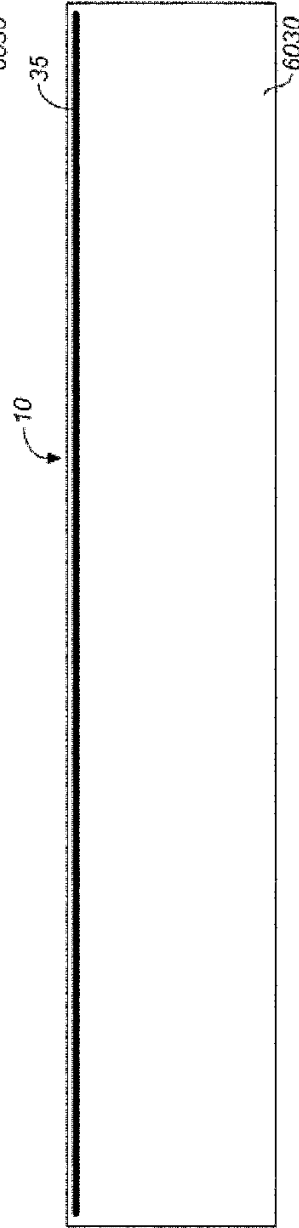


FIG. 77B

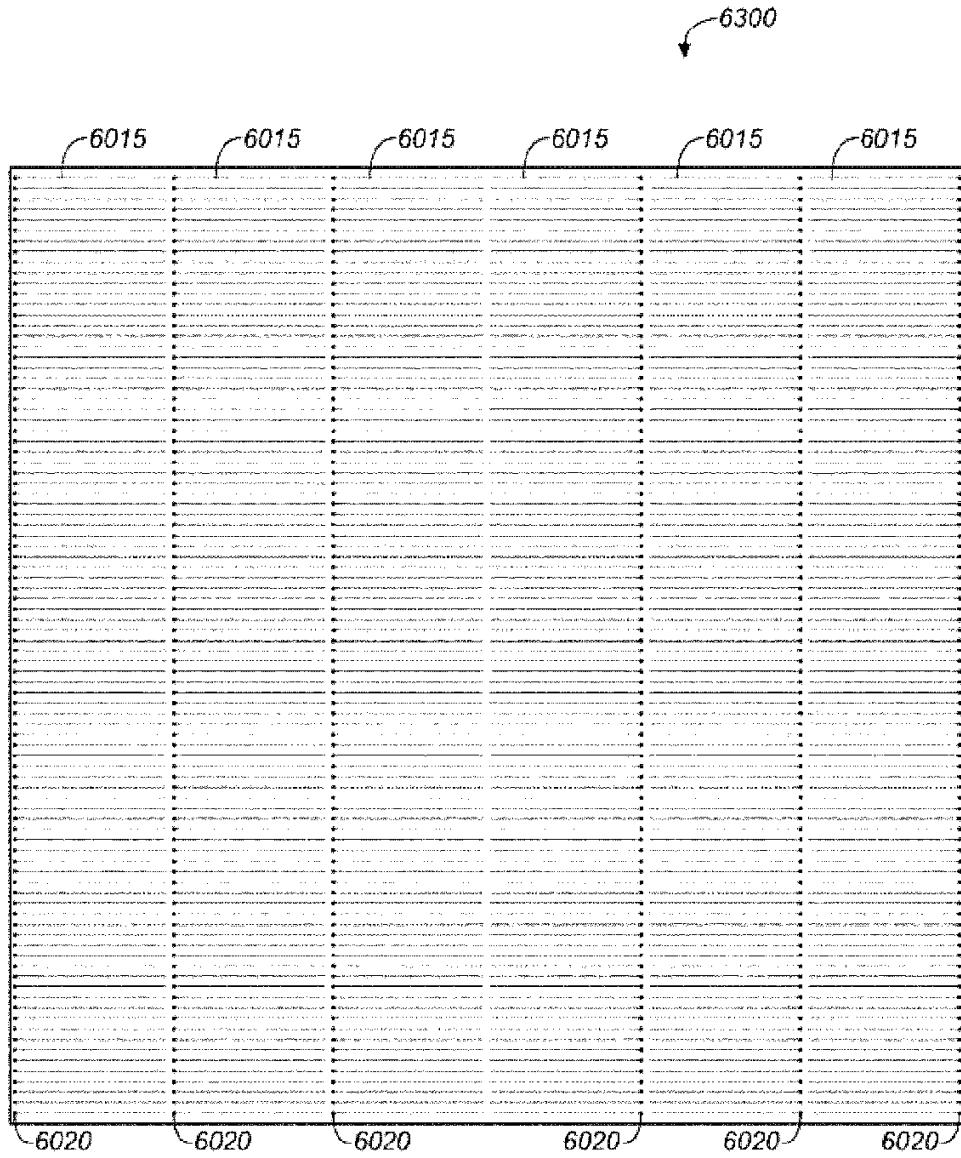


FIG. 78

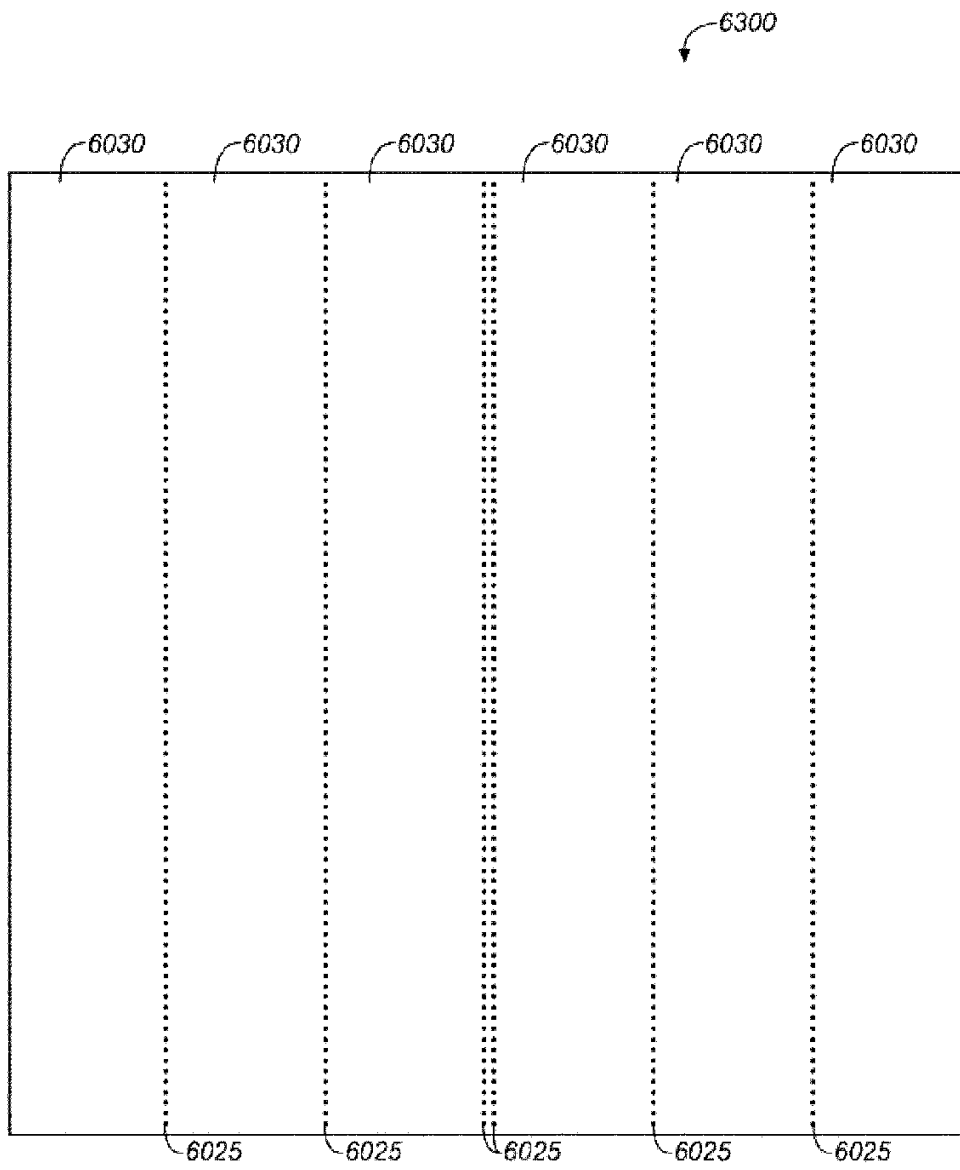


FIG. 79

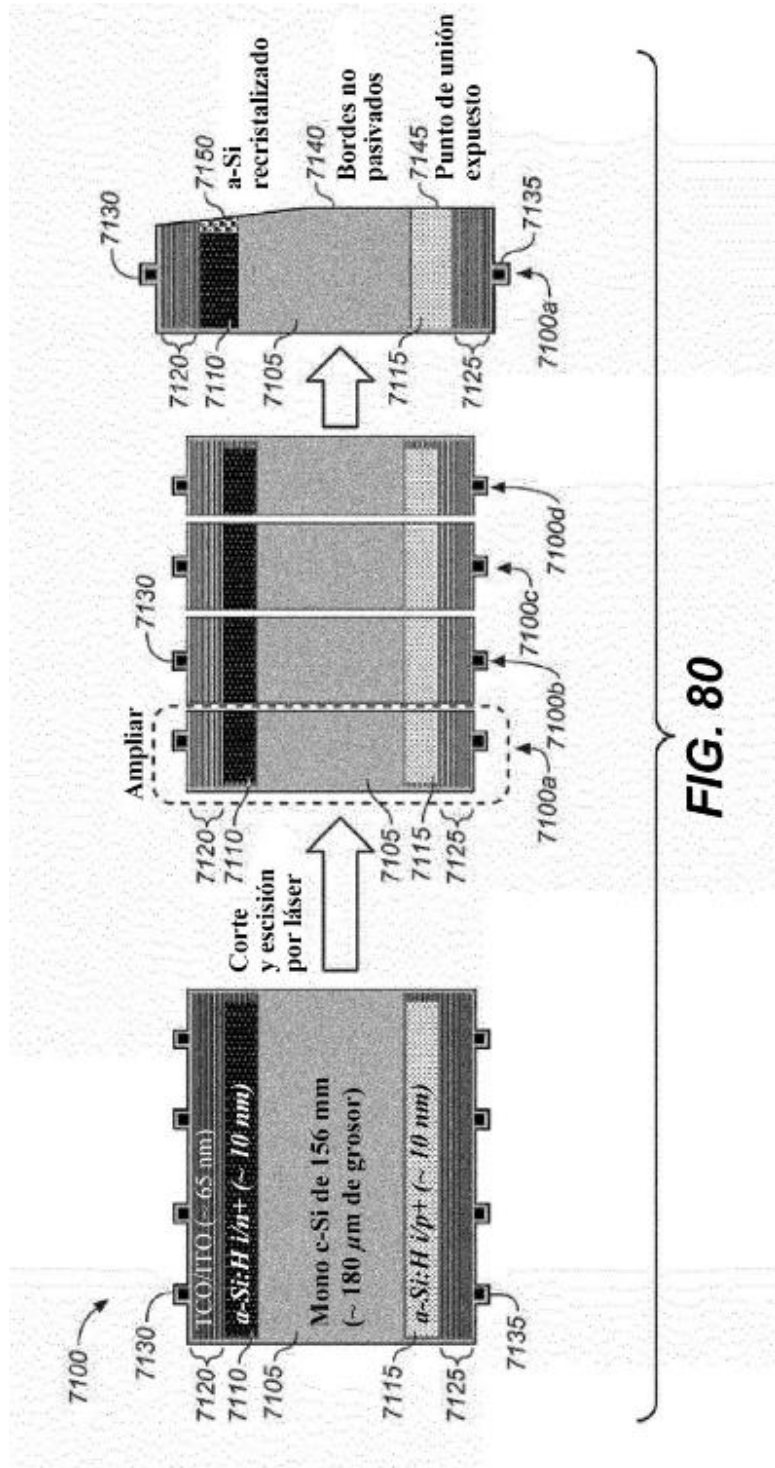


FIG. 80

FIG. 81A

Mono c-Si de 156 mm
(~ 180 μ m de grosor),
textura, limpieza húmeda

7105

FIG. 81B

a-Si:H i/n+

Depósito de a-Si en lado frontal

7110

7105

FIG. 81C

Depósito de a-Si en lado trasero

a-Si:H i/p+

7110

7105

7115

FIG. 81D

a-Si en parte frontal con
formación húmeda/mediante
láser de patrones

7112 7112 7112

7110

7105

7115

FIG. 81E



FIG. 81F



FIG. 81G

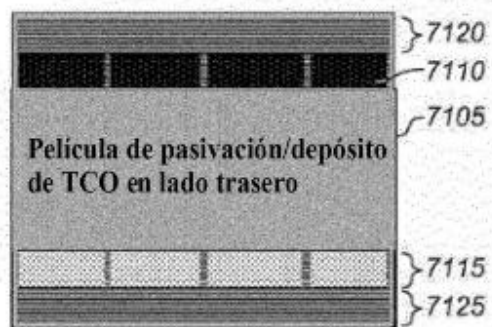


FIG. 81H

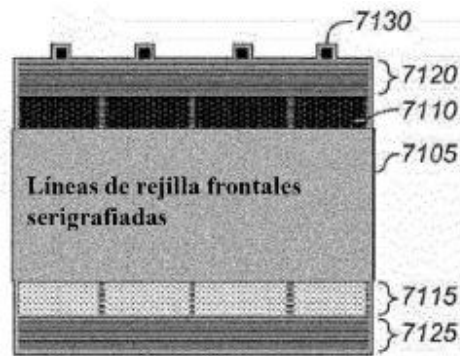


FIG. 81I

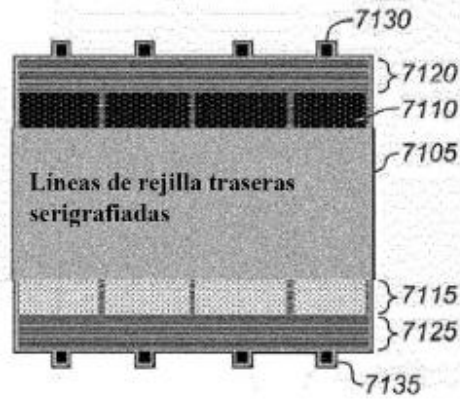


FIG. 81J

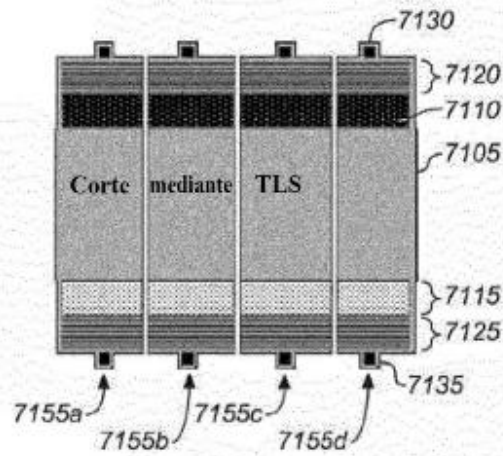


FIG. 82A

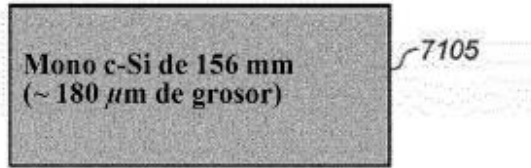


FIG. 82B

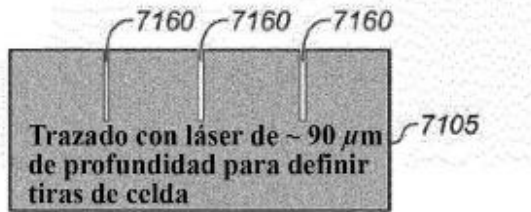


FIG. 82C



FIG. 82D



FIG. 82E

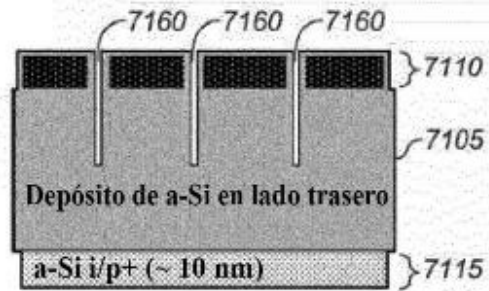


FIG. 82F

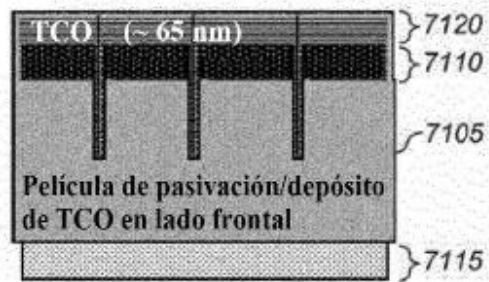


FIG. 82G

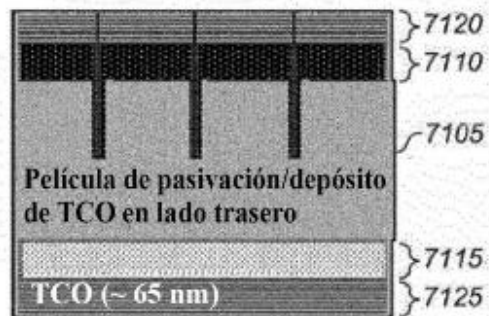


FIG. 82H

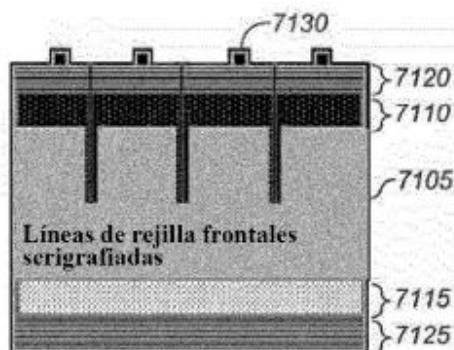


FIG. 82I

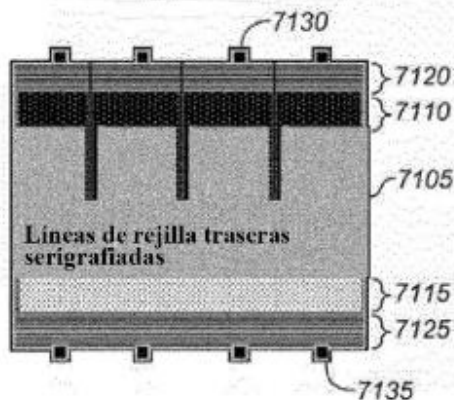


FIG. 82J

