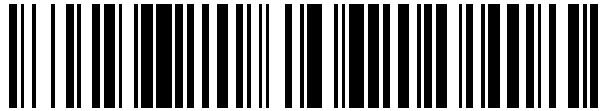


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 864 962**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0236 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.04.2015 PCT/US2015/026389**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.11.2015 WO15167826**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2015 E 15785573 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2021 EP 3138130**

54 Título: **Procedimientos y aparatos para fabricar obleas semiconductoras delgadas con regiones controladas localmente que son relativamente más gruesas que otras regiones**

30 Prioridad:

30.04.2014 US 201461986388 P
13.06.2014 US 201462011866 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.10.2021

73 Titular/es:

1366 TECHNOLOGIES INC. (100.0%)
6 Preston Court
Bedford, MA 01730, US

72 Inventor/es:

SACHS, EMANUEL M.;
JONCZYK, RALF;
LORENZ, ADAM L.;
WALLACE, RICHARD L. y
HUDELSON, G. D. STEPHEN

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 864 962 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

Procedimientos y aparatos para fabricar obleas semiconductoras delgadas con regiones controladas localmente que son relativamente más gruesas que otras regiones

Antecedentes

5 Normalmente, las obleas de silicio para las células solares son de 156 mm x 156 mm y de 180 a 200 micrómetros de espesor. Dado que el silicio altamente refinado que se utiliza para fabricar estas obleas es bastante caro, sería ventajoso utilizar obleas más finas, con el fin de reducir los costes de los materiales. Además, con una construcción de célula adecuada, las obleas de silicio relativamente más finas tienen una eficiencia relativamente mayor que las células de silicio más gruesas. Las construcciones de celdas que mostrarían una mayor eficiencia utilizando obleas más delgadas son las que dan lugar a una baja recombinación superficial y a una buena captación de la luz. La estructura de célula PERC es la más adoptada actualmente. (PERC son las siglas de Passivated Emitter Rear Contact). Se cree que la razón de esta mayor eficiencia es la menor recombinación de volumen debido a la menor distancia en un cuerpo más delgado que en uno más grueso, a la unión pn colectora. La cantidad de aumento de la eficiencia de la célula resultante de un grosor más fino depende de la construcción o arquitectura de la célula, y también de la calidad electrónica de la oblea. Por lo general, los mayores aumentos se asocian a una menor calidad electrónica de la oblea. Por lo tanto, existe una fuerte motivación para utilizar obleas más delgadas, tanto para reducir el coste de la oblea como para aumentar la eficiencia de la célula. Otra ventaja de las obleas más delgadas es que el nivel de inyección de portadores minoritarios es mayor por unidad de volumen, ya que el mismo número de fotones se absorbe en menos material para un nivel de inyección más alto, y el material de silicio multicristalino tiene una mayor vida útil de portadores minoritarios a niveles de inyección más altos.

Las obleas de silicio para la energía fotovoltaica (FV) se fabrican normalmente desarrollando o fundiendo un lingote y luego cortando el lingote en obleas, normalmente mediante el aserrado con alambre. El aserrado con alambre puede utilizarse para producir obleas más finas que el grosor estándar de 180-200 micrómetros. Sin embargo, se ha comprobado que estas obleas más finas se rompen durante la fabricación de las células, la interconexión eléctrica y el encapsulado en un módulo. Por ello, tras probar con obleas más finas (de hasta 120 micrómetros), la industria ha vuelto a la norma anterior de 180-200 micrómetros. Para las estructuras típicas de las células, incluidas las PERC que utilizan material de silicio multicristalino, hacer obleas más finas que 80 micrómetros no proporciona ninguna ganancia adicional de eficiencia apreciable.

El aumento de la rotura de las obleas más finas tiene varios orígenes. Durante la fabricación de las células, las obleas suelen romperse por la propagación de un defecto desde un borde de la oblea. Los defectos de los bordes incluyen grietas y puntos finos. Además, durante la manipulación, se crean nuevas grietas y defectos en los bordes, ya que son los lugares de contacto con otras piezas de equipo durante el proceso de fabricación. Las grietas parten de un borde son un problema durante la fabricación de células y módulos. En general, se ha comprobado que, con la maquinaria y los procedimientos actuales, las obleas FV con un grosor inferior a 150 micrómetros se dañan con una frecuencia inaceptable para ser prácticas.

Además, los cables de bus y otras conexiones eléctricas deben estar unidos a los electrodos superior e inferior de las células para interconectarlos. Estos cables pueden tener una sección transversal bastante considerable para poder transportar las grandes corrientes generadas por una célula solar. Por ejemplo, un cable de bus de cobre típico en una célula de 3 cables de bus puede tener 1,6 mm de ancho y 0,15 mm de grosor. Estos cables se unen a la metalización de la célula mediante soldadura o con un adhesivo conductor. La propia fijación crea tensiones entre el cable y la metalización, especialmente en el caso de la soldadura. Los coeficientes de expansión térmica del cable y de la célula de silicio son diferentes (el del cable es mayor que el del silicio) y, por tanto, los cambios de temperatura provocan más tensiones entre el cable y la célula. Las tensiones de fijación y de expansión térmica pueden provocar la delaminación del cable y/o de la metalización de la célula, especialmente cerca de los bordes de una célula. Además, los cables del bus deben doblarse hacia abajo desde la superficie superior de la célula para envolverse bajo la superficie posterior de la célula adyacente. Este cable doblado aumenta las tensiones de delaminación en la metalización cerca del borde de la célula. Además, si se dobla de forma incorrecta, el cable puede llegar a tocar el borde de la célula, provocando o propagando grietas en los bordes.

Según otro procedimiento de fabricación, se forma una oblea semiconductor a partir de una masa fundida semiconductor, generalmente utilizando las técnicas divulgadas en la patente estadounidense nº 8, 293, 009, publicada el 23 de octubre de 2012, titulada METHODS FOR EFFICIENTLY MAKING THIN SEMICONDUCTOR BODIES FROM MOLTEN MATERIAL FOR SOLAR CELLS AND THE LIKE, por Sachs, et al.). La tecnología divulgada en esta patente se denomina en general tecnología de formación de obleas Direct Wafer® (DW). Según esta tecnología, un cuerpo semiconductor delgado, como una oblea, se forma a partir de una fusión de material semiconductor, en lugar de ser aserrado a partir de un lingote, o desarrollado entre alambres, o algún otro procedimiento.

Brevemente, según la tecnología Direct Wafer (DW) de formación de obleas, se aplica un diferencial de presión a través de una lámina de molde porosa y se forma una oblea semiconductor (por ejemplo, de silicio) sobre ella. La relajación del diferencial de presión permite la liberación de la oblea. La lámina del molde puede estar más fría que

la masa fundida. El calor se extrae a través del espesor de la oblea formada. La interfaz entre el líquido y el sólido es sustancialmente paralela a la lámina del molde. La temperatura del cuerpo de solidificación es sustancialmente uniforme a lo largo de su anchura, lo que da lugar a bajas tensiones y densidad de dislocación y a una mayor calidad cristalográfica. La lámina porosa del molde debe ser suficientemente permeable para permitir el flujo de gas a través de ella. No debe ser tan permeable como para permitir la intrusión de material fundido en las aberturas de las porosidades durante el tiempo que se proporciona el diferencial de presión. De lo contrario, las porosidades se obstruirían y no se podría mantener el diferencial de presión. El material fundido puede introducirse en la lámina mediante: un contacto de área completa con la parte superior de una masa fundida; un contacto de área parcial de la masa fundida con la lámina del molde, ya sea horizontal o vertical, o entre ambas; y mediante la inmersión del molde en una masa fundida. El tamaño del grano puede controlarse por muchos medios. El diferencial de presión, al que a veces se hace referencia en la patente de la tecnología Direct Wafer y en el presente documento como régimen de presión diferencial, puede establecerse manteniendo la superficie de la masa fundida a la presión atmosférica, y manteniendo la superficie posterior de la lámina del molde a una presión inferior a la atmosférica. En otra realización, la presión diferencial entre las caras de la lámina de molde se genera ventilando la cara posterior de la lámina de molde directamente a la atmósfera, mientras se mantiene la atmósfera en la cara de formación de la lámina de molde a una presión sustancialmente mayor que la presión atmosférica local. Una ventaja de esta realización es que no se requiere una bomba de vacío. La cara del molde y la superficie de fusión entran en contacto durante un período de tiempo que puede denominarse duración del contacto. Durante al menos una parte de la duración del contacto, se proporciona el régimen de presión diferencial. Es beneficioso formar la oblea a partir de la masa fundida, y se considera una invención de la patente de la tecnología Direct Wafer, crear un cuerpo solidificado dentro de la masa fundida, y formar dicho cuerpo, por ejemplo una oblea, en la lámina del molde (o, plantilla). No es necesario que se desprenda de la lámina de molde (o de la plantilla) para constituir un artículo de fabricación valioso. Pero también, la oblea formada puede ser retirada de la lámina de molde en una variedad de maneras. En algunos casos, se puede eliminar el régimen de presión diferencial, es decir, si se utiliza un vacío, se puede apagar y la oblea se cae. O bien, se puede reducir el régimen de presión diferencial, es decir, se puede reducir el grado de vacío o se puede reducir la diferencia de presión. Además, se pueden utilizar medios mecánicos, como clavijas de extracción, un marco de extracción u otras herramientas que entren en contacto con la oblea y la separen de la lámina del molde.

En cuanto a la porosidad de la lámina del molde, en una realización, la porosidad de la superficie en contacto con el material semiconductor primero fundido y después solidificado, debe ser lo suficientemente pequeña en escala como para dificultar la entrada del semiconductor fundido en las porosidades. Normalmente, el tamaño de los poros de interés puede oscilar entre 0,1 y 10,0 micrómetros. Las porosidades están interconectadas para que el gas que pasa a través del medio poroso del molde fluya típicamente en patrones complejos, acomodando así los bloqueos locales al encontrar caminos tortuosos alrededor de cualquier bloqueo.

La superficie más exterior del cuerpo poroso, que forma la superficie que se enfrenta y contacta con la superficie del material fundido, puede ser ligeramente no plana (a escala microscópica o ligeramente mayor), permitiendo así que el semiconductor fundido toque la superficie del molde sólo en lugares particulares, aunque numerosos y densamente empaquetados. Con esta estructura, el gas puede fluir un poco lateralmente entre el material fundido y la superficie del molde poroso. Esto permite que la succión proporcionada por el régimen de presión diferencial aplique fuerza sobre la superficie de la oblea en un porcentaje muy grande de su superficie, aproximadamente el 100%. Esto contrasta con un caso en el que se podría proporcionar un número menor de orificios más grandes, a través de los cuales se podría proporcionar la presión diferencial, para establecer un diferencial de presión equivalente. En este último caso, el lugar del diferencial de presión se limita a la superficie relativamente pequeña del número relativamente pequeño de orificios grandes. En cambio, en el primer caso, de un cuerpo verdaderamente poroso, debido a que el gas puede fluir lateralmente, el diferencial de presión está realmente presente en una naturaleza mucho más distribuida en toda la superficie del molde y de la oblea adjunta. La palabra "poroso" se utiliza aquí para describir el primer caso, y no el segundo.

Las obleas fabricadas mediante un procedimiento de tecnología Direct Wafer (DW) de formación de obleas presentan ciertas ventajas con respecto a las obleas aserradas con alambre, por ejemplo, hay mucho menos desperdicio de silicio en bruto, ya que no hay material molido hasta convertirse en polvo y, por lo tanto, se pierde con el aserrado. Además, el procedimiento por el que se fabrican, principalmente mediante el contacto de un molde con una superficie de material fundido, se presta a un control específico de ciertos aspectos de la fabricación de las obleas, como se comenta más adelante. Sin embargo, al igual que las obleas aserradas con alambre, las obleas fabricadas con el procedimiento de la tecnología de la patente Direct Wafer de grosor estándar son también menos eficientes que las obleas más delgadas fabricadas con la misma técnica, por las mismas razones de eficiencia comentadas anteriormente. Además, las obleas relativamente más delgadas fabricadas mediante la tecnología de patente Direct Wafer son más frágiles o no son tan resistentes como las obleas de espesor estándar, relativamente más gruesas, fabricadas mediante la misma tecnología de patente Direct Wafer. Además, las obleas relativamente más delgadas fabricadas con los procedimientos de la tecnología de patente Direct Wafer utilizarían menos material semiconductor en bruto que las obleas relativamente más gruesas fabricadas con la tecnología de patente Direct Wafer.

Por lo tanto, sería deseable reducir los costes de los módulos fotovoltaicos y, en particular, reducir el volumen y, por lo tanto, el coste del silicio necesario para cada oblea, fabricada por cualquier procedimiento, sin sacrificar la

resistencia, la durabilidad o el rendimiento. También sería deseable aumentar la resistencia de las obleas fabricadas, sin aumentar indebidamente su coste, peso, tamaño, rigidez u otras propiedades. También sería deseable proporcionar obleas que tuvieran una eficiencia relativamente mayor que las obleas del grosor estándar de 180-200 micrómetros. También sería deseable permitir la realización de conexiones eléctricas en obleas semiconductoras generalmente delgadas, para poder conectarlas entre sí y con otros componentes.

Los investigadores han experimentado con tecnologías basadas en polvo y asentamiento, para crear obleas que tienen algunas regiones más delgadas que otras, por ejemplo con un interior más delgado y un perímetro más grueso. Véase, por ejemplo, la patente estadounidense nº 7.456.084 B2, a nombre de Jonczyk y otros, METHOD OF USING A SETTER HAVING A RECESS IN MANUFACTURING A NET-SHAPE SEMICONDUCTOR WAFER (la patente '084). En este trabajo de asentamiento, el silicio en polvo se proporciona en un molde (denominado asentador en la patente '084) de la forma deseada, y se calienta, haciendo que el material en polvo se derrita y se funda en un cuerpo sólido de silicio multicristalino. Una de las principales dificultades de la tecnología divulgada en la patente '084, y de cualquier tecnología de polvo, es que el contenido de oxígeno intersticial es inaceptablemente alto para un semiconductor, en particular para el uso fotovoltaico. Esto se debe a que, sin llevar a cabo pasos extraordinarios, el óxido nativo en las partículas de polvo da lugar a altos niveles de oxígeno intersticial en las obleas. Las partículas relativamente más pequeñas dan lugar a un nivel relativamente mayor de oxígeno intersticial en el producto final. Para conseguir obleas relativamente más finas, deben utilizarse partículas relativamente más pequeñas. Así, para conseguir obleas relativamente más finas, habrá relativamente más oxígeno intersticial en las obleas, si se fabrican con partículas.

Por ejemplo, la patente '084 analiza obleas que tienen un rango de espesor relativamente grande, entre 300 y 1000 micrómetros, hechas de polvo. Basándose en el análisis teórico llevado a cabo por los presentes inventores, se cree que esto habría dado lugar a obleas con un contenido de oxígeno intersticial de entre 6×10^{17} y 2×10^{18} átomos/cm³, medido por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), procedimiento ASTM-F1188. Como ejemplo teórico, suponiendo un polvo esférico de 150 micrómetros de diámetro con una capa de óxido nativo de 1 nm de grosor, habría una concentración total de oxígeno de 1×10^{18} átomos/cm³. En la práctica, el polvo de silicio no es esférico, con una relación de aspecto > 2:1, por lo que contendrá una mayor relación superficie/volumen que las esferas teóricas utilizadas en la estimación anterior, e incluso una mayor concentración de oxígeno. Para conseguir obleas más finas, con un grosor inferior a 300 micrómetros, se necesitarían partículas más pequeñas, lo que supondría una mayor concentración de oxígeno. Cabe destacar que, aunque la patente '084 menciona teóricamente una oblea tan fina como 100 micrómetros, la patente '084 afirma que lo más típico sería 350-900 micrómetros. Y lo que es más importante, no tiene ningún ejemplo formal, ni habla de haber fabricado ninguna oblea real de acuerdo con los procesos que en ella se divulgan. Las únicas obleas de las que habla como si tuvieran regiones más gruesas y más delgadas son de 900 micrómetros de grosor en sus partes más delgadas, y no hay ninguna discusión explícita de que se hayan hecho tales obleas.

En general, se cree que las partículas que se van a utilizar para fabricar obleas delgadas no deben ser mayores que 1/3 del espesor final de la oblea. Por ejemplo, para fabricar una oblea más delgada que 150 micrómetros, las partículas de polvo deben ser más pequeñas que 50 micrómetros. Las partículas de dimensiones tan pequeñas tendrían una superficie muy grande en relación con el volumen de material aportado. Esta superficie relativamente grande va acompañada necesariamente de una cantidad relativamente grande de oxígeno intersticial, a través de óxido nativo, hidrocarburos y metales. Un exceso de oxígeno intersticial probablemente conduciría, no sólo a un mal rendimiento, sino que, en el extremo, podría impedir que el polvo se fundiera y cristalizara adecuadamente. El oxígeno en un polvo tan pequeño también formaría cantidades masivas de SiO₂, que podría condensarse en cualquier lugar del horno donde la temperatura sea incluso un poco más baja que la temperatura de fusión.

Se reconoce en la patente '084, en la col. 5, líneas 1-10, que la presencia de óxido de silicio en el material semiconductor (u otros óxidos para otros semiconductores) es una contaminación indeseable, y que es relativamente peor para tamaños de partícula relativamente pequeños. Así pues, el límite inferior del tamaño de las partículas, que limita la delgadez que puede alcanzarse en la oblea final, está limitado por el potencial de contaminación por óxido intersticial. Haber utilizado polvo de 50 micrómetros de tamaño de partícula, como sería necesario para fabricar obleas de 150 micrómetros o menos de grosor, daría como resultado casi cuatro veces más oxígeno en las partículas más pequeñas de polvo que el que habría estado presente en las partículas utilizadas para fabricar obleas de 300-600 micrómetros. Así, para haber utilizado partículas de 50 micrómetros (para lograr una oblea de 150 micrómetros de grosor) se esperaría haber dado como resultado una oblea que tuviera al menos 3×10^{18} átomos/cm³ de oxígeno intersticial, y muy probablemente más.

Sería deseable tener niveles de oxígeno intersticial en cualquier valor por debajo de 6×10^{17} átomos/cm³ y preferiblemente menos de 2×10^{17} átomos/cm³. El logro de cada grado de una cantidad menor de oxígeno intersticial (por ejemplo, 5×10^{17} átomos/cm³, 4×10^{17} átomos/cm³, etc., sólo para elegir dos puntos de ruptura, proporciona relativamente más ventaja que las cantidades más altas.

Es teóricamente posible a través de un tratamiento térmico conocido, como una desgasificación, precipitar el oxígeno intersticial por encima de aproximadamente 2×10^{17} átomos/cm³. Por lo tanto, el oxígeno intersticial se reduce posiblemente a ese valor, pero el oxígeno total en el cristal sigue siendo relativamente y perjudicialmente alto, al menos $8,75 \times 10^{17}$ átomos/cm³ (=10ppm en peso), según se mide por un procedimiento IGA (Análisis de Gas

Intersticial), como el que proporciona la corporación LECO de St. Joseph, Michigan. Sin embargo, sería deseable que los niveles de oxígeno total fueran inferiores a $8,74 \times 10^{17}$ átomos/ cm^3 . Cualquier valor por debajo de este valor, y preferiblemente bendito que 5.25×10^{17} átomos/ cm^3 (=6ppm en peso) proporcionaría ventajas. Alcanzar cada grado de una cantidad menor de oxígeno total (por ejemplo, 7×10^{17} átomos/ cm^3 , 6×10^{17} átomos/ cm^3 , sólo para escoger dos puntos de ruptura, proporciona relativamente más ventajas.

Otro problema relacionado con el conformado de obleas a base de polvo, especialmente con semiconductores como el silicio, se debe a la altísima tensión superficial del silicio. No se puede fabricar una oblea delgada con tecnología de polvo y fijador si todo el silicio se funde en cualquier lugar al mismo tiempo. Se necesita una cierta cantidad mínima de silicio sin fundir para romper la tensión superficial. De lo contrario, se forman bolas de silicio, en lugar de estructuras delgadas aplanadas. El proceso de fabricación de obleas divulgado en la patente '084 consistía en fundir parcialmente el polvo de silicio y, a continuación, cristalizarlo por un lado, antes de fundir el polvo restante no fundido por el otro lado y continuar el crecimiento epitaxial sobre el silicio previamente cultivado. Véase, en general, col. 7, líneas 55- col. 8, línea 64, y Fig. 1 y Fig. 2. El texto describe un proceso de calentamiento y crecimiento de grano de arriba abajo. La Fig. 2 de la patente '084 muestra la aplicación de calor desde la parte superior e inferior del cuerpo que se funde y luego se solidifica, y la Fig. 12 de dicha patente, col. 15 líneas 4-19, muestra lo mismo, así como el material parcialmente fundido 89, encima del material aún en partículas (sin número de referencia). Este proceso es muy difícil con un espesor de lecho de polvo muy fino. Se debe evitar fundir toda la profundidad del polvo de silicio en cualquier lugar. De lo contrario, la fina capa de material fundido se hará bola, dejando que se formen orificios adyacentes a la región de la bola. Por lo tanto, utilizando una tecnología de polvo y fijador, es difícil, si no imposible, obtener obleas de un grosor inferior a 200 micrómetros, con silicio (y cualquier otro semiconductor con una tensión superficial similarmente alta) porque es muy difícil fundir sólo una parte de la profundidad de un cuerpo de partículas de polvo tan poco profundo, sin fundir todo el resto de su profundidad de una sola vez, lo que daría lugar a la formación de bolas en esa región de semiconductor fundido.

La fabricación de una oblea a partir de partículas de polvo también presenta otro problema relacionado con los grandes pasos de grosor de una ubicación a otra, problema que se debe al hecho de que el polvo es como máximo un 50% denso, y más típicamente un 33% denso. Debido a este problema, no es posible tener una región más de un 20%-30% más gruesa que una ubicación adyacente sin tener una gran falta de planitud en la cara opuesta del cuerpo formado y una porción marcadamente delgada en la transición entre las regiones más gruesas y relativamente más delgadas. (Dicho de otro modo, la relación de espesores de las regiones adyacentes no puede ser superior a 1,3:1, o incluso tan pequeña como 1,2:1, dependiendo de los tamaños de las partículas, la calidad de la pieza requerida y la uniformidad dimensional). La densidad del polvo es aproximadamente 1/3 de la densidad del material solidificado. (El tamaño de las partículas tiene algún efecto sobre esta fracción.) El aparato de fraguado se ilustra con respecto a las Figs. 9 y 12 de la patente '084. Si se va a utilizar un rebaje 73 en un asentador 70 para formar un perímetro en el producto terminado, que se eleva por encima de una región interior más delgada, formada en la región 74 del asentador, tanto el rebaje 73 como la región menos profunda 74 deben estar provistos inicialmente de suficiente profundidad/volumen de partículas para crear el producto terminado.

Consideremos lo que ocurriría con la siguiente configuración. Si un rebaje 74 en un asentador tuviera una profundidad de 100 micrómetros y se deseara que el espesor de la oblea fuera de 300 micrómetros en la región principal, interior, entonces, para la región principal, sería necesario apilar polvo por encima de esta región a una profundidad de tres veces el espesor final de 300 micrómetros, para un total de 900 micrómetros. Esto significaría que, por encima de la zanja, el grosor sería de 1000 micrómetros. Después de la fusión, el espesor del cuerpo terminado sería aproximadamente 1/3 de la profundidad del polvo que estaba por encima. Así, en la región interior, tendría un grosor de 300 micrómetros. Por encima de la zanja, tendría un grosor de $1/3 \times 1000$ micrómetros = 333 micrómetros. Pero, la zanja es 100 micrómetros más profunda que el interior. Por lo tanto, el grosor del perímetro sería de 333 micrómetros, medido desde el fondo de la zanja, 100 micrómetros por debajo de la región central, y el grosor del interior sería de 300 micrómetros, medido desde la región interior plana. La superficie posterior del cuerpo formado estaría lejos de ser plana, porque las superficies opuestas estarían desplazadas por las 100 micrómetros de la zanja. La distancia a la superficie posterior por encima de la zanja desde el nivel del fondo de la zanja sería de 333 micrómetros. La distancia desde el nivel del fondo de la zanja hasta la superficie posterior por encima de la región interior sería de 400 micrómetros, porque el espesor por encima de la región interior es de 300 micrómetros, y la región interior está separada 100 micrómetros del fondo de la zanja de 100 micrómetros de profundidad. Por lo tanto, las regiones adyacentes de la superficie posterior en la interfaz entre el perímetro por encima de la zanja y la región por encima del interior estarán a diferentes distancias del fondo de la zanja de 333 micrómetros y 400 micrómetros, respectivamente, dejando un salto de 67 micrómetros entre las dos.

Debido a la falta de planitud, habrá una porción más delgada adyacente a la esquina entre la zanja y la región interior. Esta porción más delgada podría ser más débil, o constituir un elevador de tensión, y es generalmente indeseable. La falta de planitud es peor en el caso de zanjas más profundas, siempre que se establezcan extensiones mayores en el perímetro. Esto se debe a que la diferencia debida a la extensión añadida estaría presente en el absoluto, en el mismo grado que la extensión aumentada, pero el polvo añadido debido a esta extensión añadida se comprimiría a 1/3 de la cantidad añadida. Así, para una zanja perimetral de 200 micrómetros de profundidad, el salto en la superficie posterior sería una diferencia de 124 micrómetros ($=300 - ((1100 \text{ micrómetros}/3) - 200)$).

Las consideraciones anteriores también pueden expresarse en términos de la relación del tamaño de la porción elevada y extendida de la región más gruesa, en comparación con el espesor de la región más delgada. Si la superficie de la región más delgada se considera un nivel de base, entonces con el procedimiento de asentamiento, típicamente no es posible fabricar un cuerpo con una porción elevada que se extienda más allá de la superficie del nivel de base a tal grado que la relación de la extensión de la porción elevada por encima del nivel de base al espesor de la región más delgada sea mayor que 0,11. En cualquier caso, la patente '084 no divulga ningún ejemplo de cuerpos con proporciones mayores. El único ejemplo divulgado en ella tiene una región delgada de 900 micrómetros, con una porción elevada de 100 micrómetros como máximo, lo que da lugar a una relación de $100/900 = 0,11$.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es una oblea semiconductor que es más delgada, en ciertas regiones controladas, que una oblea semiconductor estándar de 180-200 micrómetros de espesor, tan delgada en porciones significativamente grandes como 80 micrómetros, e incluso en algunos casos tan delgada como 50-60 micrómetros, pero cuya oblea más delgada es lo suficientemente fuerte y robusta para ser utilizada en aplicaciones fotovoltaicas convencionales, o casi convencionales. Otro objeto de la presente invención es una oblea semiconductor que tiene relativamente menos semiconductores en su volumen que una oblea semiconductor estándar de la misma superficie. Otro objeto más de la presente invención es un procedimiento para hacer una oblea localmente más delgada, pero todavía fuerte. Todavía otro objeto de la presente invención es un procedimiento de hacer una oblea semiconductor de menor volumen. Todavía otro objeto de la presente invención es crear obleas con geometría tridimensional. Un objeto adicional de la presente invención es crear tales obleas delgadas con un contenido de oxígeno intersticial aceptable, por ejemplo, en cualquier valor inferior a 6×10^{17} átomos/ cm^3 , y preferiblemente menos de 2×10^{17} átomos/ cm^3 . Un objeto relacionado es crear tales obleas con oxígeno total de cualquier valor inferior a $8,75 \times 10^{17}$ átomos/ cm^3 (=10ppm en peso) y preferiblemente inferior a $5,25 \times 10^{17}$ átomos/ cm^3 (=6ppm en peso) según se mide mediante IGA. Otro objeto es una oblea semiconductor que tiene regiones de diferente grosor, donde las regiones adyacentes tienen una relación de grosor superior a 1,28:1. Un objeto relacionado con lo anterior es una oblea semiconductor que tiene regiones de diferentes espesores, donde la extensión de la región más gruesa por encima del nivel de base de la región más delgada es mayor que 0,11 veces el espesor de la región más delgada. Todavía otro objeto de la presente invención es una oblea semiconductor que tiene unas regiones de espesores diferentes, donde la región más delgada es preferentemente más delgada que 180 micras y en una realización específica, se extiende sobre al menos el 80% del área de superficie y tanto como 95% del área de superficie.

El documento de patente US 2010/140708 A1 divulga técnicas que facilitan la fabricación de semiconductores, incluyendo estructuras y dispositivos de espesor variable. Una realización proporciona un procedimiento para la fabricación de dispositivos semiconductores que incluye el adelgazamiento de una región de una oblea semiconductor sobre la que se va a formar el dispositivo, definiendo así una región delgada y una región gruesa de la oblea. El procedimiento continúa formando en la región gruesa uno o más dispositivos fotónicos y/o dispositivos electrónicos parcialmente empobrecidos, y formando en la región delgada uno o más dispositivos electrónicos totalmente empobrecidos. Otra realización proporciona un dispositivo semiconductor que incluye una oblea semiconductor que define una región delgada y una región gruesa. El dispositivo incluye además uno o más dispositivos fotónicos y/o dispositivos electrónicos parcialmente empobrecidos formados en la región gruesa, y uno o más dispositivos electrónicos totalmente empobrecidos formados en la región delgada. Entre la región delgada y la región gruesa puede formarse una zona de aislamiento.

Breve resumen

Según la invención, el problema se resuelve mediante un procedimiento de fabricación de una oblea semiconductor y una plantilla adecuada para dicho procedimiento, tal como se define en las reivindicaciones independientes. Otros desarrollos ventajosos de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes.

En la siguiente descripción, el término "realización", "invención" o "aspecto" puede haberse utilizado para materia que no forma parte de la invención reivindicada tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Sólo los ejemplos que comprenden todas las características de las reivindicaciones independientes se consideran parte de la invención y, por tanto, realizaciones de la invención. Las partes de la descripción no cubiertas por las reivindicaciones constituyen simplemente ejemplos útiles para la comprensión de la invención.

Una invención general de la presente es una oblea semiconductor que tiene regiones que son relativamente más gruesas que otras regiones, cuyas regiones más gruesas están en lugares específicamente diseñados o controlados de la oblea. Otra invención general de la presente es una oblea semiconductor que tiene una superficie que está generalmente nivelada, en un nivel de base, con porciones elevadas que se proyectan fuera del nivel de base, siendo también que las porciones elevadas están en lugares específicamente diseñados o controlados de la oblea. Una realización más específica es una oblea semiconductor que tiene una región interior relativamente más delgada y una región perimetral relativamente más gruesa, consumiendo así menos material semiconductor que una oblea uniformemente gruesa, y teniendo también una mayor eficiencia que una oblea que es relativamente más gruesa en la mayor parte de su superficie. Otra realización más específica es una oblea que tiene regiones relativamente delgadas, y una o más regiones discretas más gruesas, tales como costillas espaciadas, puntales, franjas, islas, tales como rectángulos, círculos, otras geometrías, etc., proporcionando así regiones reforzadas para

conexiones eléctricas y mecánicas y otros acoplamientos. En general, una realización de la presente invención es una oblea que es más delgada que 180 micrómetros y puede ser tan delgada como 60 micrómetros, más típicamente sin embargo, más gruesa que 80 micrómetros, y en una realización preferida, la región más delgada se extiende sobre al menos el 80% de la superficie del cuerpo. Realizaciones de la presente invención también incluyen obleas que tienen secciones delgadas de menos de 180 micrómetros, y secciones más gruesas, donde la proporción de los grosores es al menos 1.3:1. Todavía otra: realización de la presente invención es una oblea relativamente delgada, con relativamente porciones más gruesas, la cual tiene contenido intersticial de oxígeno de menos de 6×10^{17} átomos/ cm^3 , y más preferido, con menos de 2×10^{17} átomos/ cm^3 y más preferentemente, ningún oxígeno intersticial detectable. Además, dichas obleas tienen menos de $8,75 \times 10^{17}$ átomos/ cm^3 (=10ppm en peso) y, preferentemente, menos de $5,25 \times 10^{17}$ átomos/ cm^3 (=6ppm en peso) de oxígeno total medido por IGA. Todavía otra : realización de la misma es una oblea con porciones relativamente finas y porciones relativamente gruesas, en la que las porciones relativamente finas tienen menos de 180 micrómetros de grosor, y las porciones relativamente más gruesas se extienden más allá de las porciones más finas en al menos 40 y tanto como 120 - 200 micrómetros.

Todas las realizaciones mencionadas anteriormente pueden estar compuestas de forma beneficiosa por semiconductores que tienen cantidades relativamente pequeñas, si las hay, de oxígeno intersticial, por ejemplo, menos de 6×10^{17} átomos/ cm^3 , y preferiblemente menos de 2×10^{17} átomos/ cm^3 . Aunque la diferencia entre estos valores puede no parecer particularmente significativa, operativamente, la diferencia entre más de 6×10^{17} átomos/ cm^3 y menos de ese valor, y preferiblemente menos de 2×10^{17} átomos/ cm^3 , es muy significativa en términos de rendimiento fotovoltaico resultante. Los semiconductores para uso fotovoltaico con 6×10^{17} átomos/ cm^3 o más de oxígeno intersticial producen una menor eficiencia y una degradación inducida por la luz >2%, mientras que las obleas que tienen oxígeno intersticial de 2×10^{17} átomos/ cm^3 o menos serían preferibles y mostrarían una degradación inducida por la luz significativamente menor de <2%. Todas las realizaciones mencionadas anteriormente también pueden estar compuestas por semiconductores que tienen cantidades relativamente pequeñas, si las hay, de oxígeno total, por ejemplo, menos de $8,75 \times 10^{17}$ átomos/ cm^3 (=10ppm en peso) y preferiblemente menos de $5,25 \times 10^{17}$ átomos/ cm^3 (=6ppm en peso).

Adicionalmente: realizaciones de la presente invención incluyen células solares compuestas por dichas obleas, algunas de las cuales pueden estar provistas de conexiones eléctricas en regiones relativamente más gruesas, como las mencionadas anteriormente, y también módulos solares compuestos por dichas células solares que están conectadas entre sí a través de dichas conexiones eléctricas y porciones de oblea más gruesas, aprovechando también la alta eficiencia debida a la delgadez general de las obleas constituyentes, como se ha descrito anteriormente. Adicionalmente: las realizaciones de la presente invención son procedimientos de fabricación de todas y cada una de las obleas, células y módulos de espesor variado.

En una realización, el espesor de toda la región alrededor del perímetro de la oblea puede ser más grueso que el espesor en el interior, o región central. Por ejemplo, la región interior de la oblea puede tener un grosor de aproximadamente 100 micrómetros, con una región perimetral que tiene un grosor de aproximadamente 180-200 micrómetros. El perímetro más grueso podría extenderse típicamente, aproximadamente 1-3 mm hacia el interior del borde, como se muestra en la Fig. 1. De esta manera, la resistencia del borde de la oblea será similar a la resistencia del borde de una oblea normal de espesor uniforme.

Como se describe a continuación, los bordes más gruesos pueden adoptar muchas formas y tener muchos perfiles.

En otra realización, regiones específicamente elegidas dentro del interior de la oblea pueden ser relativamente más gruesas que otras regiones. Por ejemplo, se puede fabricar una oblea con franjas de mayor grosor en las regiones que posteriormente recibirán las barras de interconexión. La Fig. 2 muestra un ejemplo de una oblea con tales franjas engrosadas. Dichas franjas proporcionan regiones más robustas y resistentes a las grietas para soportar las tensiones de las conexiones eléctricas, como la soldadura, o los adhesivos a conductores metálicos más gruesos.

Otras realizaciones que tienen combinaciones de engrosamiento relativo del perímetro y del interior se contemplan como realizaciones de la presente invención, y se describen a continuación. Las realizaciones en las que sólo se engrosan porciones del perímetro o una región interior también se consideran invenciones de la presente, y se describen a continuación.

Otra: realización de la presente invención es una célula solar fabricada utilizando tales obleas interiores de borde grueso, o regiones gruesas. Son más ligeras, menos costosas, más duraderas y más eficientes que las células solares que tienen obleas semiconductoras convencionales de espesor uniforme como colectores de energía solar. Las conexiones eléctricas necesarias para conectar una célula con otra para fabricar un módulo pueden realizarse en las obleas con menos riesgo de daños.

Todavía otra: realización de la presente invención es un módulo compuesto de células solares de invenciones de la presente, compuesto de obleas semiconductoras de la invención. Tales módulos exhiben una eficacia más alta, debido a la delgadez de las obleas, pero no son inaceptablemente frágiles debido a la resistencia proporcionada por uno o ambos de una región relativamente más gruesa del perímetro y de regiones relativamente más gruesas para las conexiones eléctricas.

Las realizaciones de la presente invención también son procedimientos de fabricación de dichas obleas de borde grueso y de interior fino, u obleas con regiones selectivamente gruesas y regiones de otro modo finas. Uno de estos procedimientos se basa en un procedimiento de fabricación de obleas Direct Wafer® (DW), con modificaciones significativas e inventivas que se divulgan en el presente documento. El procedimiento básico se describe en su totalidad en la patente de la tecnología Direct Wafer mencionada anteriormente. A continuación se describen algunas modificaciones de los procedimientos de la tecnología DW que son realizaciones de la presente invención. Las obleas fabricadas según el procedimiento Direct Wafer® modificado tienen un contenido de oxígeno intersticial inferior a 6×10^{17} átomos/cm³, y típicamente inferior a 2×10^{17} átomos/cm³, incluso tan poco como ningún oxígeno intersticial detectable. Además, dichas obleas tienen menos de $8,75 \times 10^{17}$ átomos/cm³ (=10ppm en peso) y típicamente menos de $5,25 \times 10^{17}$ átomos/cm³ (=6ppm en peso) de oxígeno total.

El espesor de una oblea formada en un molde por procedimientos de tecnología DW depende de la cantidad de calor extraído del material semiconductor fundido y luego solidificado en el lugar de interés, y también en cierta medida de la tasa de extracción de calor (el flujo de calor) en ese lugar. El espesor del silicio solidificado tiene un límite superior, que se basa en la cantidad total de calor extraído. Esto se debe a que hay que extraer una cantidad específica de calor del líquido para congelarlo. Esta cantidad se denomina calor latente de fusión. Por ejemplo, para el silicio, el calor latente de fusión es de 4,138 kJ/cm³. Así, para congelar un volumen de silicio, la extracción local de calor debe ser de 41,4 J/cm² por cada 100 micrómetros de espesor de la oblea. Esto supone que todo el calor extraído de la masa fundida procede del calor latente. Dicho de otro modo, esto supone que la masa fundida ya estaba exactamente a la temperatura de congelación. Sin embargo, si esta cantidad de calor se extrae demasiado lentamente -durante un periodo de tiempo demasiado largo-, el calor se conducirá a la oblea solidificada desde la masa fundida más caliente que se encuentra debajo, reduciendo así el calor neto extraído del material fundido y, por tanto, el grosor de la oblea resultante. Así, en ese caso de extracción lenta, aunque se extraiga la cantidad de calor necesaria, la masa fundida volverá a calentar el material que se solidifica y, por tanto, no se congelará en la misma medida.

Se ha determinado, como una realización de la presente invención, que un calor relativamente mayor extraído en una región, en comparación con otra región, resulta en la formación de una región de oblea relativamente más gruesa en la ubicación con una extracción de calor relativamente mayor. A la inversa, una extracción de calor relativamente menor en una región en comparación con otra da lugar a la formación de una región de oblea relativamente más fina en la ubicación con una extracción de calor relativamente menor. Por lo general, las ubicaciones que experimentan un mayor flujo de calor también tienen más extracción de calor, y las ubicaciones que experimentan un menor flujo de calor también tienen menos extracción de calor.

Por razones que se explicarán a continuación, los procedimientos que se utilizan para crear las obleas de las realizaciones de la presente invención difieren de los procedimientos de la tecnología Direct Wafer® de una manera importante, de tal manera que el cuerpo que imparte la forma a la oblea, que es análogo a un molde-lámina o a un molde como esos términos se utilizan en las patentes de la tecnología DW, no funciona como un molde convencional. La función del cuerpo se explica más adelante. Pero, por esta razón, en general se lo denomina aquí como una plantilla o, en algunos casos, como un patrón, y no como un molde.

Considerando, por ejemplo, formar una oblea que tenga una región perimetral relativamente más gruesa, esto puede lograrse controlando el flujo de calor del material fundido semiconductor a la plantilla, de manera que haya más calor extraído del material fundido alrededor del perímetro, en las regiones donde se desea que la oblea sea más gruesa, en comparación con la región interior. La oblea formada será más gruesa alrededor del perímetro que en el interior. Del mismo modo, en el caso de franjas u otras geometrías relativamente más gruesas, en particular las asociadas a las conexiones eléctricas, se extrae relativamente más calor en los lugares que se desea que sean relativamente más gruesos, lo que dará lugar a un grosor relativamente mayor, en comparación con las regiones en las que se extrae relativamente menos calor.

A continuación se analizan muchas formas diferentes de proporcionar diferencias controladas y diseñadas en la extracción de calor de una región específicamente localizada y diseñada a otra, incluyendo, pero no limitado a: proporcionar una o más regiones de un revestimiento en la plantilla que retarden (o si se desea, mejoren) la extracción de calor en comparación con las regiones no revestidas; proporcionar regiones con diferentes espesores de plantilla en diferentes ubicaciones de la plantilla, y por lo tanto con más o menos masa térmica en las diferentes ubicaciones, las regiones más gruesas generalmente tienen más masa térmica y experimentan más extracción de calor, en comparación con las regiones más delgadas, con menos masa térmica y menos extracción de calor; proporcionar diferentes cantidades de presión diferencial en diferentes ubicaciones a través de la superficie de la plantilla; proporcionar propiedades térmicas localmente diferentes dentro de la propia plantilla, como por ejemplo incluyendo huecos, de modo que haya menos masa térmica, o inserciones de materiales diferentes, de modo que la extracción de calor difiera en estos lugares diferentes; proporcionar diferentes grados de permeabilidad en la plantilla en diferentes lugares, proporcionando así diferentes grados de extracción de calor, ya sea debido a la permeabilidad en sí, o debido al diferente grado de presión diferencial que surge de los diferentes grados de permeabilidad.

A continuación se analiza la formación de obleas semiconductoras para usos principalmente fotovoltaicos, por ejemplo en la formación de una oblea colectora solar. Las obleas típicas tienen un tamaño de 156 mm por 156 mm, estableciendo una superficie colectora solar, que es generalmente plana. Tienen un grosor, que es ortogonal a este

plano, que generalmente está entre 180-200 micrómetros de grosor. Esta dimensión de grosor es la que centra principalmente la siguiente discusión, y los términos fino y grueso se utilizarán generalmente para referirse al tamaño de las estructuras en esta dimensión que es ortogonal al plano de la superficie colectora solar. Se describen las estructuras que tienen una dimensión dentro del plano de la superficie de captación solar. Los términos ancho y estrecho, o similares, se utilizan generalmente para referirse al tamaño de estas estructuras en el plano de la superficie colectora solar. También es posible formar obleas para otros usos. Los ejemplos expuestos para el uso fotovoltaico son sólo para fines de explicación, y no deben tomarse como una limitación de las realizaciones reivindicadas en el presente documento sólo a los usos fotovoltaicos, a menos que se especifique en las reivindicaciones.

- 5 Las obleas fabricadas de acuerdo con los procedimientos directos de fusión aquí analizados tienen los niveles bajos de oxígeno deseados, teniendo un contenido de oxígeno intersticial de menos de 6×10^{17} átomos/cm³, y típicamente menos de 2×10^{17} átomos/cm³ e incluso tan poco como ningún oxígeno intersticial detectable. Además, tales obleas tienen menos de $8,75 \times 10^{17}$ átomos/cm³ (=10ppm en peso) y típicamente menos de $5,25 \times 10^{17}$ átomos/cm³ (=6ppm en peso) de oxígeno total
- 10 Estos y otros objetos y aspectos de: las realizaciones aquí divulgadas se entenderán mejor con referencia a las Figuras del Dibujo, de las cuales:

Breve descripción de las figuras del dibujo

20 La Fig. 1 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada de 100 micrómetros de espesor y una región perimetral relativamente gruesa de 200 micrómetros de espesor, siendo la región interior más delgada que una oblea fotovoltaica de silicio estándar de 180-200 micrómetros de espesor, siendo el perímetro grueso de aproximadamente 2 mm de ancho, y teniendo un borde interior inclinado;

La Fig. 1A es una vista ampliada de una región perimetral de la oblea de la Fig. 1 en A;

25 La Fig. 1B es una vista en sección transversal de la oblea de la Fig. 1 a lo largo de las líneas B-B, que muestra que el perímetro es más grueso que la región interior;

La Fig. 2 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior delgada de 100 micrómetros y regiones más gruesas de 200-300 micrómetros de espesor que comprenden franjas para la conexión de los cables del bus;

30 La Fig. 2A es una vista ampliada en sección transversal de la oblea de la Fig. 2 a lo largo de las líneas A-A, que muestra que la(s) franja(s) es(n) más gruesa(s) que las regiones interiores adyacentes, y tiene(n) bordes inclinados;

La Fig. 3 es una representación gráfica que muestra la relación entre la eficiencia de la célula y el espesor de la oblea en una estructura de célula PERC;

35 La Fig. 4 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada de, por ejemplo, 100 micrómetros de grosor, y una región perimetral relativamente más gruesa de aproximadamente 150 micrómetros de grosor y 1,5 mm de ancho y regiones que comprenden franjas, que son relativamente más gruesas que el interior, siendo aproximadamente de 150 micrómetros de altura y 2,7 mm de ancho;

La Fig. 4A es una vista ampliada de la región A de la Fig. 4;

40 La Fig. 5 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada de 100 micrómetros y una región perimetral relativamente gruesa de 200 micrómetros, siendo el perímetro grueso de aproximadamente 1 mm de ancho, y teniendo una esquina afilada en su borde interior;

La Fig. 5A es una vista ampliada de una región perimetral de la oblea de la Fig. 5 en A;

45 La Fig. 5B es una vista en sección transversal de la oblea de la Fig. 5 a lo largo de las líneas A-A, mostrando que el perímetro es más grueso que la región interior;

50 La Fig. 6 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior muy fina de 60 micrómetros de espesor y una región perimetral de 200 micrómetros de espesor, siendo el perímetro de aproximadamente 2 mm de ancho, y teniendo un borde interior inclinado que establece una transición de 0,4 mm;

La Fig. 6A es una vista ampliada de una región perimetral de la oblea de la Fig. 6 en A;

La Fig. 6B es una vista en sección transversal de la oblea de la Fig. 6 a lo largo de las líneas A-A, mostrando que el perímetro es más grueso que la región interior;

5 La Fig. 7 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada de 100 micrómetros y una región perimetral relativamente gruesa de 200 micrómetros, siendo la transición del interior delgado al perímetro grueso muy gradual, de manera que la región más gruesa tiene aproximadamente 2 mm de ancho, con una región de transición de aproximadamente 2 mm hacia la delgadez del interior;

La Fig. 7A es una vista ampliada de una región perimetral de la oblea de la Fig. 7 en A;

10 La Fig. 7B es una vista en sección transversal de la oblea de la Fig. 7 a lo largo de las líneas A-A, mostrando que el perímetro es más grueso que la región interior;

15 La Fig. 8 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior delgada de 100 micrómetros y puntales de refuerzo de alambre conductor relativamente más gruesos y espaciados que tienen una anchura de aproximadamente 2,4 mm, que se extienden hacia el interior desde un perímetro que se estrecha desde un grosor de 200 micrómetros en el borde hasta el grosor de la región interior, sin una región perimetral generalmente más gruesa que los bordes de los puntales;

La Fig. 8A es una vista ampliada de la región A de la Fig. 8;

20 La Fig. 9 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada de 100 micrómetros, y una región de borde relativamente más gruesa de aproximadamente 150 micrómetros de espesor y 1,5 mm de ancho, y puntales de cables de bus espaciados que tienen aproximadamente 2,7 mm de ancho, que se extienden hacia el interior desde la región de borde más gruesa, disminuyendo desde un espesor de la región de borde en el borde, hasta el espesor de la región interior;

La Fig. 9A es una vista ampliada de la región A de la Fig. 9;

25 La Fig. 10 es una representación esquemática de una oblea de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada de, por ejemplo, 100 micrómetros de espesor, y una región de borde relativamente más gruesa de aproximadamente 150 micrómetros de espesor y 1,5 mm de ancho, y puntales de cables conductores espaciados que tienen aproximadamente 2,7 mm de ancho, que se extienden hacia el interior desde la región de borde más gruesa, y que se estrechan desde el grosor de la región de borde, de aproximadamente 150 micrómetros en el borde, hasta el grosor de la región interior, por ejemplo 100 micrómetros, y también, islas de alambre conductor espaciadas a lo largo del ancho de la oblea para el soporte de los alambres conductores;

30 La Fig. 11 es una representación esquemática de dos obleas como las que se muestran en la Fig. 11, con puntales e islas y un interior delgado, provistas de metalización e interconectadas con dos cables de bus;

35 La Fig. 11A es una representación esquemática de una vista ampliada de la porción A de la Fig. 11, en la que se muestra una porción de un solo cable de bus y una metalización, así como un puntal y una isla;

La Fig. 11B es una vista parcialmente despiezada de la porción ampliada de la oblea mostrada en la Fig. 11A, con el elemento de bus retirado para mostrar la metalización que hay debajo;

40 Las Figs. 12A, 12B, 12C, 12D y 12E, muestran, esquemáticamente, etapas de aplicación de una capa funcional que se deposita en dos pasos para proporcionar una oblea que tiene un interior delgado y un perímetro más grueso, con:

La Fig. 12A muestra una plantilla con una primera capa funcional provista en toda su superficie;

La Fig. 12B muestra la plantilla de la Fig. 12A con una máscara alrededor de su perímetro;

45 La Fig. 12C muestra la plantilla enmascarada de la Fig. 12B con una segunda capa funcional depositada en el interior de la máscara;

La Fig. 12D muestra la plantilla de la Fig. 12C con la máscara retirada, mostrando dos capas funcionales apiladas de diferentes áreas de superficie; y

La Fig. 12E muestra la plantilla de la Fig. 12D volteada de manera que su lado de fusión esté orientado hacia abajo, como lo haría durante el uso típico;

50 Las Figs. 13A, 13B, 13C y 13D, muestran, de forma esquemática, etapas de aplicación de dos capas de interposición con:

- La Fig. 13A muestra una plantilla sola;
- La Fig. 13B muestra la plantilla de la Fig. 13A con una primera capa de interposición que cubre toda su superficie;
- 5 La Fig. 13C muestra la plantilla cubierta de la Fig. 13B con una capa de interposición adicional que cubre el interior, para producir una oblea que tiene un interior delgado y un perímetro más grueso; y
- La Fig. 13D muestra la plantilla de la Fig. 13C, volteada de manera que su lado de fusión quede hacia abajo, como lo haría durante su uso;
- La Fig. 14A muestra, de forma esquemática, una plantilla cubierta con tiras de material funcional, ya sea depositado en forma de polvo u otra forma fluida, o como cuerpos intercalados independientes; y
- 10 La Fig. 14B muestra la plantilla de la Fig. 14A, volteada de manera que su lado de fusión quede hacia abajo, como lo haría durante su uso;
- La Fig. 15 muestra, de forma esquemática y en sección transversal parcial, una plantilla con dos capas de material funcional y una oblea formada sobre la superficie de fusión de la plantilla;
- 15 La Fig. 16 muestra esquemáticamente, en sección transversal parcial, la oblea de la Fig. 15, separada de la plantilla;
- La Fig. 17 muestra, de forma esquemática, una plantilla con diferentes grosores en distintas regiones, con una región interior más fina y una región perimetral más gruesa;
- La Fig. 18 muestra, de forma esquemática y en sección transversal parcial, una plantilla de espesor variable y una oblea formada sobre la superficie de fusión de la plantilla;
- 20 La Fig. 19 muestra, de forma esquemática, una plantilla con diferentes grosores en diferentes regiones, como en la Fig. 17, con una región interior más fina y una región perimetral más gruesa, y también con regiones interiores más gruesas para formar una franja, un puntal y una isla;
- La Fig. 19A muestra, esquemáticamente, en sección transversal, la plantilla de la Fig. 19 a lo largo de las líneas A-A;
- 25 La Fig. 19B muestra, esquemáticamente, en sección transversal, la plantilla de la Fig. 19 a lo largo de las líneas B-B;
- La Fig. 20A muestra, de forma esquemática, en sección transversal parcial, la porción de la plantilla con espesor variable, mostrada en la Fig. 19A, con una oblea formada sobre la superficie de fusión de la plantilla;
- 30 La Fig. 20B muestra, esquemáticamente, en sección transversal parcial, la porción de la plantilla de espesor variable, mostrada en la Fig. 19B, con una oblea formada sobre la superficie de fusión de la plantilla; y
- 35 La Fig. 21 muestra una plantilla con orificios dispuestos en el interior, para proporcionar una plantilla con diferentes propiedades térmicas en su región interior, en comparación con su región perimetral, con los orificios mostrados esquemáticamente, para simplificar la ilustración.

Descripción detallada

Las realizaciones aquí divulgadas se refieren a obleas semiconductoras y a procedimientos de formación de dichas obleas. Son particularmente aplicables a obleas semiconductoras para su uso en conjuntos fotovoltaicos, y a procedimientos de fabricación de dichas obleas y dichos conjuntos, aunque pueden utilizarse para la formación de artículos similares a obleas para otros usos. Las obleas de silicio se discuten como un ejemplo, pero las realizaciones no se limitan al silicio como semiconductor. Del mismo modo, aunque los usos fotovoltaicos se discuten a modo de ejemplo, los procedimientos divulgados en el presente documento pueden utilizarse con cualquier artículo semiconductor fabricado a partir de un volumen de material fundido, utilizando un cuerpo poroso como la plantilla descrita en el presente documento donde se desea tener regiones que son más delgadas que otras, que son más gruesas, y también, en particular, donde las regiones delgadas son bastante finas, y se refuerzan en cierta medida por la presencia de las regiones engrosadas.

40

45

Como se ha discutido anteriormente, las realizaciones aquí divulgadas pueden referirse en general a obleas que son más delgadas, en la mayor parte de su superficie, que las obleas fotovoltaicas estándar, que generalmente tienen un grosor de 180-200 micrómetros. Las obleas de las realizaciones de la presente invención también tienen regiones más gruesas, que pueden ayudar a proporcionar una mayor resistencia de la que estaría presente con una oblea que tenga un grosor uniforme de menos de 180 micrómetros, tales como regiones perimetrales más gruesas, o

50

franjas, islas, costillas de extensión, puntales, pestañas u otras geometrías más gruesas para las conexiones eléctricas. Estas otras estructuras más gruesas también pueden proporcionar otras características además de la resistencia, como una mayor robustez para la conexión eléctrica. Tal como se utiliza en el presente documento, cuando se afirma que una oblea tiene una región interior más delgada, se quiere decir que la mayor parte de la región interior es más delgada, excluyendo estas otras geometrías, como rayas, islas, etc. En general, al menos el 50% de la región interior será del tamaño más delgado, y más típicamente más del 80% o 90% será del tamaño más delgado. Generalmente, las obleas de las realizaciones de la presente invención tienen regiones interiores que son más delgadas que 140 micrómetros, y preferentemente, más delgadas que 100 micrómetros, hasta tan delgadas como 60 micrómetros. Puede ser posible, con medidas especiales tomadas, producir obleas incluso más delgadas que 60 micrómetros. En general, la relación entre las regiones relativamente más gruesas y las regiones relativamente más delgadas estará entre 1,3 a 1 y 3 a 1, sin embargo, pueden ser menores o mayores. En un caso más general, se piensa que para el uso fotovoltaico, la región más delgada no será probablemente más delgada que 50 micrómetros, y la región más gruesa no será probablemente más gruesa que 250 micrómetros. Una oblea con ambos extremos de grosor es posible en el futuro, aunque es más probable que ambos límites no se encuentren en la misma oblea con las prácticas actuales.

El significado de regiones más gruesas y regiones más delgadas, tal como se utiliza en el presente documento, requiere alguna explicación debido a las variaciones naturales de grosor de las obleas fotovoltaicas convencionales aserradas con hilo. Las obleas aserradas con alambre adoptan típicamente una forma de cuña, en la dirección del aserrado, porque a medida que el alambre de corte entra en el borde de ataque del ladrillo para cortar una oblea, la lechada de corte, por ejemplo sic, se descompone y también arrastra Si desgastado con ella, lo que da lugar a un cambio en el grosor de la ranura a medida que el alambre viaja a través del borde de salida del ladrillo que se está aserrando. Por lo tanto, se elimina más material del ladrillo en la parte de salida de la trayectoria de corte que en la parte de entrada. Una variación típica del grosor de una oblea aserrada sería de entre 10 y 30 micrómetros, siendo el cambio de grosor de naturaleza sistemática de un borde a otro. El grosor de la oblea paralelo a la longitud del hilo de corte es aproximadamente igual de un extremo a otro del hilo. La variación se produce en la dirección en la que se mueve el hilo. En general, la diferencia de grosor dentro de una oblea debida a estas causas relacionadas con el corte de la sierra es inferior o igual al 20% de la parte más gruesa.

Tal y como se utiliza en el presente documento, cuando se menciona que una región de una oblea de una realización de la presente invención es más gruesa que otra región, se quiere decir que una variación de grosor local específicamente diseñada está presente y ha sido creada. La colocación de las variaciones está diseñada y controlada específicamente. El término "más grueso" pretende significar algo diferente a la variación debida al aserrado, discutida anteriormente, desde el borde de ataque hasta el borde de salida del corte de la sierra. Considerada desde un punto de vista porcentual, la diferencia de grosor dentro de una oblea debida a las diferencias específicamente diseñadas y controladas localmente suele ser mayor o igual al 20% del grosor de la parte más gruesa.

Tal y como se utiliza en el presente documento, el grosor de una región significa un grosor promedio, tal y como se mide utilizando sensores de grosor capacitivos desde una superficie de la oblea hasta la superficie opuesta de la oblea, lo que crea un mapa x-y del grosor por posición. Por ejemplo, si se considera una oblea que tiene una región interior grande y delgada, y una segunda región más gruesa (ya sea una región continua, como un perímetro, o secciones de regiones no contiguas, como islas o puntales, como se explica más adelante), dicho mapa x-y de la superficie de la oblea puede excluir la(s) segunda(s) región(es) (de mayor grosor). Puede haber variaciones de grosor dentro de la primera región más fina. (Por ejemplo, un TTV típico o Variación de Espesor Total calculado como el máximo menos el mínimo de todos los puntos de un mapa de obleas realizado según las realizaciones de la presente invención puede oscilar entre 40 y 80 micrómetros para una oblea de 200 micrómetros de espesor) pero el espesor promedio de la primera región será significativamente (>20%) menor que el espesor promedio de la segunda región.

En el caso de un perímetro estrecho para la 2ª región, el procedimiento de medición para determinar el grosor puede ser diferente, como por ejemplo mediante cámaras de visión de bordes, porque los sensores capacitivos tienen un punto de medición de -5mm y no pueden detectar crestas estrechas.

A continuación se discutirán primero varios tipos y geometrías diferentes de obleas de las realizaciones de la presente invención. A continuación, se discutirán los procedimientos de formación de dichas obleas.

La Fig. 1 muestra, de forma esquemática, una oblea 100, que tiene una extensión 110 de una región interior 120, que es más delgada que 180 micrómetros, por ejemplo, aproximadamente 100 micrómetros. La región perimetral 130 puede ser más gruesa, por ejemplo de 180-250 micrómetros de grosor, lo que incluye dentro de su rango, el rango del grosor total de una oblea fotovoltaica de silicio estándar. Por lo tanto, la relación entre el grosor de la porción más gruesa y el de la porción más delgada sería de al menos 1,8:1, relación que no podría alcanzarse utilizando una tecnología basada en polvo, como la divulgada en la patente '084. El perímetro más grueso 130 podría extenderse típicamente, 0,5-3 mm hacia el interior del borde, como se muestra en la Fig. 1, preferiblemente 1-2 mm. Por lo tanto, su anchura w podría ser de aproximadamente 1-3 mm. La esquina interior 134 está inclinada, desde el perímetro 130, más alto y grueso, hasta el interior 120, más bajo y delgado. La resistencia del borde 132 de la oblea 100 será similar a la resistencia del borde de una oblea normal. La realización mostrada en la Fig. 1 tiene

una anchura perimetral w de dos mm, con una región de transición gradual de más grueso a más fino de aproximadamente 0,4 mm.

De hecho, en algunos aspectos, el perímetro más grueso 130 será más fuerte que un borde del mismo espesor en una oblea de espesor uniforme del caso normal. Por ejemplo, cuando una oblea 100 de una realización de la presente invención, con un centro relativamente delgado 110 y un borde relativamente grueso 132, choca contra un portador de obleas u otra pieza de hardware, lo hará con menos fuerza que lo haría una oblea de espesor uniforme, porque la oblea 100 más delgada en promedio tendrá menos masa y, por lo tanto, menos impulso, y por lo tanto requerirá menos fuerzas para detenerse. Además, una oblea con una sección interior más delgada puede soportar mucha más desviación y flexión en esta región interior en comparación con una oblea de grosor estándar. Incluso la región del borde más gruesa puede soportar más flexión que una oblea completa del mismo grosor, porque la primera se dobla como una viga, mientras que la segunda se comporta como una placa, como se entiende en el arte de la mecánica de los sólidos. Por lo tanto, una oblea interior delgada y de perímetro grueso es, en general, más resistente y robusta que una oblea normal de espesor normal uniforme, o una oblea delgada de espesor uniforme (aunque más delgada).

Además, dicha oblea, debido a su relativa delgadez general, salvo en su perímetro u otras regiones más gruesas, tiene una mayor eficiencia en las arquitecturas de celdas que dan lugar a una baja combinación de superficies y una buena captación de la luz, como el PERC mencionado anteriormente. Una oblea con un borde grueso (o regiones gruesas) y un interior delgado, está compuesta por una cantidad significativamente menor de material semiconductor que la que tendría una oblea convencional uniformemente gruesa con la misma o peor resistencia o la misma o peor eficiencia, o ambas.

Por lo tanto, dicha oblea de una realización de la presente invención tiene unos costes de materiales significativamente más bajos porque se compone de menos material semiconductor que una oblea de espesor uniforme. Por ejemplo, una oblea de las dimensiones mencionadas anteriormente, espesor interior de 100 micrómetros, perímetro de 2 mm de ancho, 200 micrómetros de espesor, se compone de aproximadamente el 60% o menos del semiconductor que se necesitaría para una oblea de 200 micrómetros de espesor uniforme.

Por ejemplo, el volumen de una oblea estándar de 156 mm x 156 mm x 200 micrómetros de espesor es de 4,87 centímetros cúbicos y su masa es de aproximadamente 11,2 gramos. Una oblea que tiene una sección central de 100 micrómetros de espesor y un borde de 2 mm de ancho de 200 micrómetros de espesor, tiene un volumen de 2,56 centímetros cúbicos y una masa de aproximadamente 5,88 gramos, para un ahorro de aproximadamente el 50% de la masa de una oblea estándar.

Tal como se utiliza en el presente documento, una región perimetral es una región que rodea sustancialmente todo el límite de una oblea de cualquier forma, ya sea cuadrada, rectangular, circular o de cualquier otra forma

En otra realización, ciertas regiones dentro del interior de una oblea se hacen más gruesas, por razones funcionales específicas. Por ejemplo, como se muestra esquemáticamente con referencia a la Fig. 2, una oblea 200 puede tener franjas 240a, 240b, 240i (franjas intermedias no mostradas), 240c, de mayor grosor, situadas en regiones de una oblea 200 que posteriormente recibirán barras de interconexión. Las franjas 240a-240c están situadas en una región interior 210 que es, por lo demás, más fina que una oblea normal de 180-200 micrómetros de grosor, teniendo, por ejemplo, un grosor de 100 micrómetros. Las franjas pueden tener un grosor de hasta 250 micrómetros, aunque no es necesario que lo tengan para este propósito. Se cree que un grosor para las conexiones eléctricas de entre 150 y 250 micrómetros es beneficioso. Por lo tanto, la relación entre el grosor de la parte más gruesa y el de la parte más fina sería de al menos 1,5:1, relación que no podría alcanzarse utilizando una tecnología basada en polvo, como la divulgada en la patente '084.

El grosor de las regiones perimetrales y de cualquier región interior más gruesa puede elegirse en relación con el grosor de la región central. Típicamente, la relación entre el grosor de las regiones gruesas y las regiones finas está entre 1,28 a 1 y 3 a 1, pero puede ser tan grande como 5 a 1 para algunos usos típicos. Dicho de otra manera, en términos de la relación entre el tamaño de la extensión de la región más gruesa más allá del nivel de la base de la superficie de la región más fina, y el grosor de la región más fina, esa relación es típicamente entre 0,28 y 4.

Como es conocido en la técnica, para ciertos tipos de arquitectura de célula, la eficiencia de una célula solar que tiene una oblea relativamente más delgada puede ser mayor que una célula solar que tiene una oblea relativamente más gruesa. Los tipos de arquitecturas de células para los que esto es cierto incluyen, pero no se limitan a: PERC (Passivated Emitter Rear Contact) y PASHA. En una estructura PASHA, la parte posterior de la célula está formada por una región muy dopada, que crea un campo superficial posterior que, como se sabe en la técnica, repele a los portadores minoritarios hacia la parte delantera de la célula. El conductor de la parte posterior de la célula tiene forma de dedos, en lugar de una zona completa de metal. La superficie de silicio entre estos dedos puede estar pasivada, lo que en combinación con el campo de la superficie posterior, proporciona una pasivación completa. La luz infrarroja que llega a la parte posterior de la célula puede encontrar un buen reflector óptico y volver a entrar en la célula. Esta estructura puede ser especialmente adecuada para una oblea delgada, ya que la menor cobertura metálica en la parte posterior hará que la oblea se arquee menos debido al desajuste de la expansión térmica entre el silicio y el metal posterior. Esto se debe a varias causas físicas.

El uso de una oblea más delgada puede aumentar la eficiencia de una célula fabricada en dicha oblea al aumentar tanto el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) como la corriente de cortocircuito (I_{sc}). El V_{oc} aumenta porque hay menos recombinación de portadores minoritarios en la masa de la oblea, porque hay menos masa, es decir, precisamente porque la oblea es más delgada. La corriente también puede ser mayor. Esto se debe a que los portadores fotogenerados, que resultan de la absorción de fotones infrarrojos cerca de la parte trasera de la célula, no tienen que viajar tanto hasta la unión p-n en la parte delantera de la célula. Por lo tanto, menos de estos portadores fotogenerados se pierden por recombinación) y, por lo tanto, llegan más a la unión capaz de crear corriente externa a la célula.

Para aprovechar al máximo estas mejoras, la célula debe lograr preferentemente una excelente captación de la luz, de modo que la luz infrarroja rebote muchas veces dentro de la célula y pueda estar disponible para ser absorbida. En particular, es preferible que haya una buena reflexión óptica en la parte posterior de la célula. Esto está presente con una parte trasera PERC, conocida en el arte. El aumento de la eficiencia que se obtiene al reducir el grosor es mayor en el caso de materiales con menor vida útil de los portadores minoritarios, una medida primordial de la calidad electrónica. Esto se debe a que, en un material con menor vida útil, es más probable que los portadores fotogenerados creados en la parte trasera de una célula se recombinen antes de llegar a la parte delantera de la misma, en comparación con un caso similar con un material de alta vida útil. Por lo tanto, acortar esta distancia que tienen que recorrer los portadores fotogenerados es más ventajoso para el material de menor vida útil.

La Fig. 3 muestra, de forma esquemática, la relación entre la eficiencia de la célula (la escala vertical) y el grosor de la oblea (escala horizontal). Este gráfico se creó a partir de un software de simulación conocido como PC1D, que se utiliza ampliamente en la industria fotovoltaica. Supone una espalda PERC con una reflectividad óptica del 96% y una velocidad de recombinación superficial de 20 cm/s. La familia de curvas corresponde a diferentes valores de la vida de los portadores minoritarios (τ). En general, una oblea estándar de 180-200 micrómetros de grosor tiene un τ de aproximadamente 150 microsegundos, y tiene una eficiencia de entre aproximadamente el 19% y el 19,1%. Si se reduce el grosor de la oblea estándar a 100 micrómetros, la eficiencia aumenta sólo ligeramente hasta el 19,3% aproximadamente. Por el contrario, una oblea de menor τ , por ejemplo de 35 microsegundos, que con un grosor estándar de 180-200 micrómetros tendría una eficiencia de sólo un 18% aproximadamente, puede tener una eficiencia mucho mayor, cercana al 18,4%, si tiene un grosor menor de sólo 100 micrómetros. Por lo tanto, la reducción del grosor de las obleas con una τ relativamente menor tiene un mayor beneficio en la ganancia de eficiencia de esas obleas de menor τ , que la reducción del grosor de las obleas que tienen una τ relativamente mayor. Otra ventaja de las obleas más delgadas es que el nivel de inyección de portadores minoritarios es mayor por unidad de volumen, ya que el mismo número de fotones se absorbe en menos volumen de material, lo que da lugar a un mayor nivel de inyección. Dado que el material de silicio multicristalino y el material fabricado con el procedimiento Direct Wafer® tiene un mayor tiempo de vida de los portadores minoritarios que aumenta a niveles de inyección más altos, la oblea más delgada logrará en la práctica un τ más alto.

Por lo tanto, los beneficios de una oblea más delgada como se ha descrito anteriormente incluyen tanto el aumento de la eficiencia como la disminución del coste por el uso de menos silicio. Para obtener estos beneficios con una oblea que tenga una primera región más delgada y una segunda región más gruesa, desde el punto de vista práctico de equilibrar los beneficios en comparación con el esfuerzo adicional que debe realizarse para fabricar las regiones de diferentes espesores, con los costes de los materiales y las eficiencias de las obleas fabricadas directamente a partir de un cuerpo fundido de semiconductor, la fracción de área de la primera región debe ser la mayor parte de la superficie de la oblea, preferiblemente >80% y más preferiblemente >90%.

Así, lo anterior muestra varias realizaciones básicas de obleas que tienen regiones significativamente más delgadas que las obleas normales de 180-200 micrómetros de la industria, en una extensión significativa de su superficie, para unas cuantas geometrías y patrones básicos diferentes y usos de regiones delgadas y gruesas. Lo anterior también ha revelado que estas obleas más delgadas son más eficientes que las obleas más gruesas (de la misma τ), y también que estas obleas más delgadas con regiones selectivamente más gruesas son más fuertes que las obleas uniformemente delgadas o uniformemente gruesas. Los procedimientos para fabricar dichas obleas delgadas se discuten más adelante. Sin embargo, antes de discutir los procedimientos de fabricación de las obleas, inmediatamente después se discute una amplia variedad de patrones diferentes de regiones delgadas y gruesas.

50 Geometrías

Un aspecto importante de una realización de la presente invención es proporcionar obleas que sean bastante delgadas en el interior, típicamente de un grosor inferior a 180 micrómetros. En realizaciones preferidas, el grosor será inferior a 140 micrómetros. En algunas realizaciones, el grosor será inferior a 100 micrómetros. En algunas realizaciones especializadas, el grosor será inferior a 80 micrómetros, aunque también se cree que las ventajas de eficiencia no estarán presentes con obleas más delgadas que 80 micrómetros, pero sin embargo, las ventajas del coste de los materiales existirán. En algunas realizaciones muy especializadas, el espesor puede ser inferior a 60 micrómetros. Se entiende en el arte que las obleas de menos de 180 micrómetros son generalmente frágiles en el manejo y esto es definitivamente así para las obleas de menos de 150 micrómetros. Además, se entiende en el arte que si las obleas son extremadamente delgadas, típicamente deben ser manipuladas haciéndolas montar en un soporte, que a menudo permanece unido a la oblea y se convierte en parte del módulo terminado. Por lo tanto, un aspecto clave de la presente realización es permitir la manipulación de obleas de un grosor que de otro modo sería

prácticamente imposible de manejar, en particular, como obleas independientes. Hasta cierto punto, puede considerarse que alguna oblea provista de una porción portadora integral, a saber, el borde engrosado.

Ya se han discutido anteriormente las realizaciones básicas mostradas en la Fig. 1, de una oblea delgada 100 con un perímetro engrosado 132, y mostradas en la Fig. 2, de una oblea delgada 200 con bandas engrosadas 240a, 240b, 240c, etc. para conectar o transportar conductores de barras colectoras u otros elementos eléctricos. También son posibles combinaciones, variaciones y combinaciones de variaciones.

La Fig. 4 es una representación esquemática de una oblea 400 de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada 410, de por ejemplo 100 micrómetros de espesor, y una región perimetral relativamente más gruesa 430 de aproximadamente 150-250 micrómetros de espesor, en total, que tiene una anchura w de aproximadamente 1,5 mm (Fig. 4A). Además, las regiones 440a, 440b, 440c, que tienen forma de franjas, son relativamente más gruesas que el interior 410 en general, teniendo un grosor de aproximadamente 150-250 micrómetros y una anchura r de aproximadamente 2,7 mm. Por lo tanto, la forma de realización de la oblea 400 mostrada en la Fig. 4 tiene un interior delgado 410 y luego tanto un perímetro relativamente más grueso 430 como franjas relativamente más gruesas 440a, 440b, etc. También se muestra el borde 432.

La Fig. 5 muestra, de forma esquemática, una oblea 500, que tiene una extensión 510 de una región interior 520, que es más delgada que 180 micrómetros, por ejemplo, aproximadamente 100 micrómetros. La región perimetral 530 puede ser más gruesa, por ejemplo 200 micrómetros de espesor. Este perímetro 530 más grueso se muestra extendiéndose aproximadamente un mm hacia el interior del borde 532 como se muestra en la Fig. 5B. Por lo tanto, su anchura w podría ser de aproximadamente un mm. La esquina interior 534 es relativamente afilada siendo aproximadamente cuadrada, en la ampliación mostrada, y por lo tanto la transición de grueso a fino es abrupta. La Fig. 5B muestra la oblea de la Fig. 5 en las líneas B-B. La Fig. 5A muestra una ampliación de la oblea de la Fig. 5, en A. (Ninguna de las Figs. 5, 5A o 5B está a escala).

La Fig. 6 muestra, de forma esquemática, una oblea 600, que tiene una extensión 610 de una región interior 620, que es más delgada que 180 micrómetros, por ejemplo, aproximadamente 60 micrómetros. La región perimetral 630 puede ser más gruesa, por ejemplo 200 micrómetros de espesor. Este perímetro 630 más grueso se muestra extendiéndose aproximadamente dos mm hacia el interior del borde 632 como se muestra en la Fig. 6. Por lo tanto, su anchura w podría ser de aproximadamente dos mm. La esquina interior 634 está inclinada, desde el perímetro más alto y grueso 630, hasta el interior más bajo y delgado 620. La realización mostrada en la Fig. 6 tiene una anchura perimetral w de dos mm, con una región de transición gradual de más grueso a más delgado de aproximadamente 0,4 mm. La Fig. 6B muestra la oblea de la Fig. 6 en las líneas B-B. La Fig. 6A muestra una ampliación de la oblea de la Fig. 6, en A. (Ninguna de las Figs. 6, 6A o 6B está a escala).

La Fig. 7 muestra, de forma esquemática, una oblea 700, que tiene una extensión 710 de una región interior 720, que es más delgada que 180 micrómetros, por ejemplo, aproximadamente 100 micrómetros. La región perimetral 730 puede ser más gruesa, por ejemplo 200 micrómetros de espesor. Este perímetro 730 más grueso se muestra extendiéndose aproximadamente dos mm hacia el interior desde el borde 732 como se muestra en la Fig. 7. Por lo tanto, su anchura w podría ser de aproximadamente dos mm. La transición interior 734 es suave y extremadamente gradual y se extiende más que las regiones de transición de las realizaciones discutidas anteriormente, desde el perímetro más alto y grueso 730, hasta el interior más bajo y delgado 720. La realización mostrada en la Fig. 7 tiene una anchura perimetral w de dos mm, con una región de transición de más gruesa a más fina que tiene una anchura s de aproximadamente dos mm. La Fig. 7B muestra la oblea de la Fig. 7 en las líneas B-B. La Fig. 7A muestra una ampliación de la oblea de la Fig. 7, en A. (Ninguna de las Figs. 7, 7A o 7B está a escala).

La Fig. 8 muestra una realización que es similar en algunos aspectos a la mostrada con referencia a la Fig. 2. Una oblea 800 tiene puntales cortos, o lengüetas 840a, 840b, 840c ..., que son refuerzos para la fijación de los cables de bus a la oblea 800. Los puntales 840a, etc., tienen un mayor grosor cerca de los bordes, como el 832, y se estrechan hasta el grosor de la región interior 810 después de una corta longitud. Los descansos también pueden ser referidos aquí como lengüetas. Estos son típicamente localizados específicamente e intencionalmente en regiones de una oblea 800 que luego recibirán barras de interconexión. Típicamente, los cables de bus tienden a tirar más fuerte en la oblea cerca de los bordes 832, y por lo tanto, esta es la ubicación donde las lengüetas de refuerzo son más beneficiosas. Los cables bus no tiran con tanta fuerza más lejos de los bordes 832, más cerca del centro 810. Por lo tanto, el grosor general del interior de la oblea 810 puede ser delgado, tal como 100 micrómetros o menos, como se discute. Los puntales de refuerzo de los hilos conductores 840a, b, c, pueden ser tan gruesos como 200-250 micrómetros, o incluso más gruesos, en su sección más gruesa, aunque no necesitan ser tan gruesos para todos los propósitos. Se cree que un grosor para las conexiones eléctricas de entre 150 y 250 micrómetros es beneficioso. En una realización típica, los puntales de refuerzo 840a, etc., pueden tener una anchura r de aproximadamente 2,4 mm, y se estrecharán de 200 micrómetros a 100 micrómetros de grosor en una longitud perpendicular a la anchura, r , de, por ejemplo, unos 18-20 mm. Dichas estructuras pueden denominarse en el presente documento como puntales, refuerzos o lengüetas de cableado. La Fig. 8A es una ampliación de la región A de la Fig. 8.

Los términos "puntal" y "lengüeta" se utilizan indistintamente en el presente documento para referirse a una región elevada que se encuentra junto a un borde de una oblea y que se extiende desde el borde hasta una región interior relativamente fina. El puntal en sí es más grueso que la región interior. Puede estrecharse desde una porción más

gruesa, cerca del borde, hasta una porción más delgada, cerca del interior, cuya porción más delgada puede ser tan delgada como el interior más delgado. Además, el borde de la oblea también puede ser más grueso en al menos una parte del perímetro del cuerpo de la oblea y, de hecho, todo el perímetro puede ser más grueso. Por lo tanto, el puntal puede extenderse desde un perímetro más grueso hasta un interior más delgado, y el grosor del puntal puede ser igual o más grueso que el del perímetro adyacente al perímetro, y tan delgado como el interior, adyacente al interior.

La Fig. 9 muestra una realización que es similar en algunos aspectos a la mostrada con referencia a las Figs. 8 y 1, teniendo tanto un borde perimetral más grueso 930 como también puntales (o pestañas) de refuerzo de los cables bus. La oblea 900 tiene unos puntales 940a, 940b, 940c ... etc., que son refuerzos para la fijación de los cables de bus a la oblea 900, similares a los puntales 840a, 840b, anteriores. Los descansos 940a, etc., tienen un mayor grosor cerca de los bordes, como el 932, y se estrechan hasta el grosor de la región interior 910 después de una corta longitud. Estos están ubicados en regiones de la oblea 900 que posteriormente recibirán barras de interconexión. El grosor general del interior de la oblea 910 puede ser delgado, tal como 100 micrómetros o menos, como se ha discutido. Los puntales de refuerzo de las barras 940a, b, c, etc., pueden ser tan gruesos como 200-250 micrómetros, o incluso más gruesos, aunque no necesitan ser tan gruesos para todos los propósitos. Además, esta realización tiene una región perimetral gruesa 930 en cada borde 932, que, al igual que las realizaciones discutidas anteriormente, puede ser de 200 micrómetros de espesor. En una realización típica, los puntales de refuerzo 940a, etc., pueden ser de aproximadamente 2,7 mm de ancho, y se estrecharán desde 200 micrómetros, el mismo grosor que la región perimetral 930, hasta 100 micrómetros en una longitud de aproximadamente 18-20 mm. La región perimetral 930 puede tener una anchura w , como se ha comentado anteriormente, de aproximadamente 1 - 3 mm o mayor, siendo beneficioso 1,5 mm. La Fig. 9A es una ampliación de la región A de la Fig. 9.

La Fig. 10 es una representación esquemática de una oblea 1000 de una realización de la presente invención, que tiene una región interior relativamente delgada 1010, de por ejemplo 100 micrómetros de espesor, y una región perimetral relativamente más gruesa 1030 de aproximadamente 150-250 micrómetros de espesor, que tiene un ancho de aproximadamente 1,5 mm. Además, las regiones elevadas 1040a, 1040b, que están en forma de puntales, o lengüetas, son relativamente más gruesas que el interior, siendo de aproximadamente 150-250 micrómetros de altura y teniendo una anchura de aproximadamente 2,7 mm. Los puntales o lengüetas 1040a, 1040b, sirven de refuerzo en los extremos de los cables bus, como se ha comentado anteriormente en la Fig. 4, puntales 440a, 440b. Además, los islotes gruesos 1042a, 1042b están espaciados a lo largo de la oblea, a lo largo de su interior, en una línea (o líneas) que salta al otro lado del perímetro 1030. Estos descansos elevados 1040a, etc. y las islas 1042a, etc., son para recibir el cable de bus. Las islas 1042a, 1042b, etc., son más gruesas que el interior 1010, por ejemplo de 150-250 micrómetros de altura, similar a los puntales 1040a, 1040b. Tal como se utiliza aquí, el término isla significa una región relativamente elevada que está rodeada por regiones relativamente más bajas y típicamente más delgadas.

La Fig. 11 muestra, esquemáticamente, un par de obleas 1000a y 1000b, como se muestra en la Fig. 10, conectadas por un par de cables bus 1170a y 1170b. Las Figs. 11A y 11B muestran una porción ampliada A de la Fig. 11. La porción de bus 1172 de una metalización para una célula solar que utiliza la oblea 1000a como componente puede ser serigrafiada como una franja continua, que ondularía hacia arriba y hacia abajo sobre y entre el puntal 1040a, y las islas 1042a, etc., como se muestra en las Figs. 11A y 11B, como una cinta colocada sobre una superficie rugosa. Sin embargo, el propio cable bus 1170b podría estar más en un plano, con menos ondulación, y unirse sólo a las almohadillas elevadas 1040a, 1040b en los extremos del cable bus y en las islas elevadas 1042a1, 1042a2, etc., a lo largo de los tramos interiores del cable bus, dejando la mayor parte del cable bus mecánicamente distinto y separado en lugares s de la superficie de la oblea 1000a. La Fig. 11A muestra una ampliación de la Fig. 11 en A, con el cable bus 1170b desplazado un poco para mostrar la metalización 1172 por debajo, y la Fig. 11B muestra esta misma sección con el cable bus 1170b en su lugar. Las Figs. 11A y 11B muestran que en las ubicaciones s , hay un espacio vertical entre la superficie de la oblea y su metalización 1172, y la parte inferior de la barra colectora 1170b. De esta manera, un desajuste de la expansión térmica entre el material de la oblea de silicio y el cable bus de cobre puede ser acomodado de alguna manera por los espacios s entre las almohadillas de puntal 1040a y las islas 1042a, permitiendo que el cable bus se flexione un poco (por ejemplo, estirándose). Esto puede crear menos tensión en la oblea, y reducir una causa potencial de grietas y otros fallos, como la delaminación del cable bus.

Así, la realización de la oblea 1000 mostrada en la Fig. 10 y la Fig. 11 tiene un interior delgado 1010 y luego un perímetro relativamente más grueso 1030 y almohadillas de puntal 1040a, 1040b, etc. e islas 1042a, 1042b, etc.

La Fig. 11 muestra cómo los hilos conductores 1170a, 1170b, deben doblarse hacia abajo desde la superficie superior de una célula 1000a, para envolver por debajo a la superficie posterior de la célula 1000b adyacente. Este cable doblado aumenta las tensiones de delaminación en la metalización en los puntos de unión y cerca del borde 1132 de la celda 1000a. Además, si se dobla incorrectamente, el cable puede tocar el borde 1132 de la célula, causando o propagando grietas en el borde. Por lo tanto, la provisión de puntos de fijación más gruesos, como los puntales 1040b y las islas 1042b1 y el perímetro engrosado 1030 aumenta la resistencia de la oblea y minimiza la posibilidad de delaminación y grietas.

Se entenderá que las realizaciones discutidas anteriormente en términos de porciones relativamente más delgadas y porciones relativamente más gruesas también pueden describirse en términos de una oblea que tiene un nivel de

base general, por ejemplo, considerando la oblea 100 de la Fig. 1, la superficie 120 y las porciones elevadas que se extienden desde esa porción de nivel de base, como el perímetro elevado 130. De manera similar, como se muestra en la Fig. 4, la oblea 400 tiene un nivel base general 420, desde el cual se extienden porciones elevadas como las franjas 440a, 440b, etc. y el perímetro 430. En general, una porción elevada podría extenderse desde tan poco como 20 micrómetros más allá de la superficie del nivel base de la porción más delgada, más típicamente 40 micrómetros, hasta tanto como 120 micrómetros, por ejemplo en el caso de una oblea con un interior de 60 micrómetros y un perímetro de 180 micrómetros. En la práctica, este tamaño de la porción extendida también depende del grosor de la porción más delgada. En general, la relación entre el grosor de la porción más gruesa y la más delgada no suele ser superior a 5:1 y más típicamente sería de 3:1 o menos.

Las consideraciones sobre la geometría y los espesores relativos pueden pensarse en términos de eficiencia y manejo y conexiones eléctricas. En general, la eficiencia de una oblea estará dominada por la delgadez de su mayor extensión de superficie, por lo que tener un interior delgado de al menos el 80% de la superficie es importante para lograr las ganancias de eficiencia. Del mismo modo, según los tipos de maquinaria que se utilizan actualmente, la facilidad de manipulación está dominada por el grosor del perímetro y las porciones más gruesas, que no tienen por qué ser más del 5% de la superficie de la oblea, o incluso menos. Por último, la facilidad de conexión eléctrica está dominada por el grosor de la oblea en los lugares en los que hay que realizar las conexiones eléctricas, que es donde están los cables de bus, como las bandas, y/o en algunos casos, donde se realizan las conexiones de soldadura, como en los puntales y las islas.

Como se ha comentado anteriormente, según un procedimiento de fabricación de obleas relativamente reciente, se forma una oblea semiconductor directamente a partir de una masa fundida semiconductor, generalmente utilizando las técnicas divulgadas en la patente estadounidense n.º 8, 293, 009, publicada el 23 de octubre de 2012, titulada METHODS FOR EFFICIENTLY MAKING THIN SEMICONDUCTOR BODIES FROM MOLTEN MATERIAL FOR SOLAR CELLS AND THE LIKE, por Sachs, et al.). La tecnología divulgada en la patente '009 se denomina aquí generalmente tecnología Direct Wafer^R (DW) de formación de obleas. Según esta tecnología, un cuerpo semiconductor delgado, como una oblea, se forma a partir de una masa fundida, en lugar de ser aserrada a partir de un lingote, o cultivada entre hilos, o algún otro procedimiento.

Como ya se ha mencionado brevemente, el grosor de una oblea formada en una plantilla depende de la cantidad de calor extraído del material semiconductor fundido y luego solidificado en el lugar de interés y también en cierta medida de la velocidad de extracción de calor. Una cantidad relativamente mayor de calor extraído en una región, en comparación con otra, (si se extrae a una velocidad suficiente) da lugar a la formación de una región de oblea relativamente más gruesa en la ubicación de la plantilla con una extracción de calor relativamente mayor. A la inversa, si se extrae relativamente menos calor en una región en comparación con otra, se forma una región de oblea relativamente más delgada en la ubicación de la plantilla con una extracción de calor relativamente menor. Esto se ilustra con referencia a las Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19, Fig. 19A y 19B, Fig. 20A y Fig. 20B, y Fig. 21, y se discute más ampliamente a continuación.

Por lo tanto, la propensión de una región de la plantilla a extraer calor rige el espesor de la oblea que se formará en la región en cuestión. La siguiente discusión explora diferentes maneras de aumentar la propensión a la extracción de calor de una región específicamente diseñada y controlada de una plantilla, en comparación con otra región específicamente diseñada y controlada y, por lo tanto, típicamente, para aumentar el calor extraído y el espesor de la oblea formada en la ubicación de mayor extracción de calor.

Antes de discutir estas diferentes formas de aumentar y variar las propensiones de extracción de calor, se discutirá la ventaja de las realizaciones aquí relacionadas con el oxígeno intersticial y el contenido total de oxígeno de las obleas formadas. Como se mencionó anteriormente, las tecnologías basadas en polvo sufren de niveles indeseablemente altos de oxígeno intersticial en la oblea formada terminada u otro cuerpo semiconductor. Esto se debe a que, sin llevar a cabo pasos extraordinarios, el óxido nativo en las partículas de polvo da lugar a altos niveles de oxígeno intersticial en las obleas. Las partículas relativamente más pequeñas dan lugar a un nivel relativamente mayor de oxígeno intersticial en el producto acabado. Para conseguir obleas relativamente más finas, deben utilizarse partículas relativamente más pequeñas. Por lo tanto, para lograr obleas relativamente más delgadas, habrá relativamente más oxígeno intersticial en las obleas. Por ejemplo, la patente '084 habla de obleas que tienen un rango de grosor de entre 350 y 1000 micrómetros, y también habla de polvo de 20-1000 micrómetros. Para conseguir un grosor de 350 micrómetros sería necesario utilizar polvo de un tamaño inferior a 120 micrómetros. Se cree, basándose en el análisis realizado por los inventores, que esto produciría obleas con un contenido de oxígeno intersticial de entre 6×10^{17} átomos/cm³ y 2×10^{18} átomos/cm³.

Las obleas fabricadas directamente a partir de un semiconductor fundido no están sujetas a este problema de contaminación por óxidos y oxígeno intersticial, ya que la materia prima para el material fundido no necesita ser partículas pequeñas con su inherente alto contenido de óxido nativo. Así, el material fundido a partir del cual se forman las obleas u otros cuerpos formados, tiene menos contenido de oxígeno, y por lo tanto, los cuerpos formados también tienen menos oxígeno intersticial. Por ejemplo, las obleas de silicio formadas directamente a partir del semiconductor fundido utilizando los procedimientos descritos anteriormente suelen tener un contenido de oxígeno intersticial de 2×10^{17} átomos/cm³ o menos, en comparación con al menos tres veces eso y más para las tecnologías

basadas en polvo. Además, dichas obleas tienen menos de $8,75 \times 10^{17}$ átomos/cm³ (=10ppm en peso) y típicamente menos de $5,25 \times 10^{17}$ átomos/cm³ (=6ppm en peso) de oxígeno total, en comparación con más de $8,75 \times 10^{17}$ átomos/cm³ para las tecnologías basadas en polvo.

5 Pasando ahora a una discusión de las diferentes formas de aumentar y variar las propensiones de extracción de calor, se considera, por ejemplo, una oblea con una región perimetral relativamente más gruesa, tal como se muestra en la Fig. 1 en 130. Controlando la extracción de calor del material fundido semiconductor a la plantilla, de tal manera que haya más calor extraído del material fundido alrededor del perímetro, en las regiones donde se desea que la oblea sea más gruesa, en comparación con las regiones interiores, la oblea como se forma será más gruesa alrededor del perímetro que en el interior.

10 De manera similar, como se muestra en la Fig. 2 en 240a, 240b, para franjas relativamente más gruesas u otras geometrías, como se muestra en la Fig. 8, con puntales de cables de bus 840a, 840b, particularmente para ser asociados con conexiones eléctricas, relativamente más calor extraído en las ubicaciones deseadas para ser relativamente más gruesas, resultará en tal espesor relativamente mayor en esas ubicaciones, en comparación con la mayoría de la región interior 810, donde hay relativamente menos calor extraído.

15 A continuación se discuten en detalle muchos procedimientos diferentes para proporcionar diferencias controladas y diseñadas en el flujo de calor y la extracción en una región en comparación con otra. Estos incluyen, pero no se limitan a: proporcionar una o más regiones de una capa funcional, como un revestimiento, o una capa intercalada independiente, en la plantilla, que retrasa (o en un pequeño número de casos, mejora) el flujo de calor, y/o la extracción; proporcionar una plantilla que es más gruesa en algunas regiones, y por lo tanto tiene más masa térmica y más propensión a la extracción de calor que en otras regiones que son más delgadas, con menos masa térmica y menos propensión a la extracción de calor; proporcionar diferentes cantidades de presión diferencial en diferentes lugares a través de la superficie de la plantilla; proporcionar propiedades térmicas localmente diferentes dentro de la propia plantilla, como por ejemplo incluyendo huecos, haciendo efectivamente la plantilla más delgada en las ubicaciones del vacío; proporcionar diferentes grados de porosidad en la plantilla en diferentes ubicaciones, proporcionando así diferentes cantidades de extracción de calor y grados de flujo de calor, ya sea debido a la propia porosidad, o debido al diferente grado de presión diferencial que surge de los diferentes grados de porosidad.

20 En la medida en que una geometría de plantilla o un tratamiento de plantilla proporciona una mayor extracción de calor en un lugar en el que está presente que la que sería extraída por la plantilla sin la formación o el tratamiento, la formación o el tratamiento se denomina aquí potenciador de la extracción de calor, o un tratamiento que proporciona una mayor propensión a la extracción de calor. Un tratamiento o formación de la plantilla que proporciona una menor extracción de calor, como por ejemplo proporcionando una sección de la plantilla relativamente más delgada, o una pluralidad de huecos que reducen esencialmente la masa térmica de la plantilla en su ubicación, o un recubrimiento que retrasa el flujo de calor y reduce la extracción de calor y, por lo tanto, la propensión a la extracción de calor, se denominan en el presente documento detractores de la extracción de calor.

30 Por lo tanto, en un sentido general, una realización del procedimiento es un procedimiento para producir una oblea mediante la formación de la oblea en una plantilla que tiene regiones de relativamente mayor propensión a la extracción de calor en las regiones en las que se formarán regiones de la oblea que se desea que sean más gruesas, y relativamente menor propensión a la extracción de calor en las regiones de la plantilla en las que se formarán regiones de la oblea que se desea que sean más delgadas. Una realización de plantilla de la presente invención es una plantilla que tiene las propensiones relativas a la extracción de calor descritas inmediatamente arriba. Las ubicaciones de mayor o menor propensión a la extracción de calor se crean específicamente sobre la plantilla en las ubicaciones donde se desean.

35 Cabe señalar que es beneficioso formar la oblea a partir de la masa fundida, y se considera una: realización divulgada en el presente documento, crear un cuerpo solidificado dentro de la masa fundida, y formar dicho cuerpo, por ejemplo una oblea, en la plantilla de una realización de la presente invención. El cuerpo formado no necesita ser liberado de la plantilla para constituir un artículo de fabricación valioso. Pero también, la oblea formada puede ser retirada de la plantilla en una variedad de maneras. En algunos casos, el régimen de presión diferencial puede ser eliminado, es decir, si se utiliza un vacío, puede ser apagado, y la oblea se cae. O bien, se puede reducir el régimen de presión diferencial, es decir, se puede reducir el grado de vacío o la diferencia de presión. Además, se pueden utilizar medios mecánicos, ya sea solos o junto con una reducción o eliminación del régimen de presión diferencial, tales como pasadores de extracción, un marco de extracción u otras herramientas que entren en contacto mecánicamente con la oblea y la presionen para separarla de la lámina del molde. Cualquier medio adecuado para separar la oblea formada de la plantilla es aceptable, y se considera una invención del mismo.

40 Algunas formas de extraer más calor de una región específicamente identificada de una plantilla en comparación con otra región de la plantilla incluyen, pero no se limitan a los procedimientos discutidos en las siguientes secciones. Para simplificar la discusión, se asumirá inicialmente que se desea tener una región perimetral más gruesa, tal como 130 en la Fig. 1 y una región interior más delgada 110. Por lo tanto, se habla de un interior más delgado y un perímetro más grueso. Sin embargo, debe entenderse que la siguiente discusión se aplica a cualquier patrón en el que se deseen regiones más gruesas, tales como las franjas 240a, 240b, como se muestra en la Fig. 2, los puntales de refuerzo de alambre de bus 840a, 840b, como se muestra en la Fig. 8, y/o cualquiera de las otras regiones

relativamente más gruesas discutidas en el presente documento, así como cualquier otra región relativamente más gruesa de cualquier forma y para cualquier propósito que se diseñe en futuras estructuras hechas de acuerdo con los procedimientos de las realizaciones de la presente invención. En tales casos, los procedimientos discutidos aquí y más abajo para crear un perímetro más grueso se ajustarían para crear regiones más gruesas donde se desee, aparte del perímetro. (Si se desea una región perimetral más delgada, entonces se adoptarían las operaciones opuestas).

Para controlar la extracción de calor, puede proporcionarse un revestimiento de capa funcional en la plantilla o en la superficie de fusión en un patrón que define un interior rodeado por un perímetro de la anchura deseada del perímetro más grueso. Dicha capa funcional puede ser de los tipos descritos en la patente de tecnología de obleas directas antes citada, n° 8, 293, 009. Se discuten las capas funcionales que proporcionan varias funciones, tales como: mejorar la liberación del cuerpo solidificado de la plantilla, disminuir los sitios de nucleación de la cristalización, aumentar la frecuencia de los sitios de nucleación de la cristalización, establecer sitios de nucleación de la cristalización en lugares deseados, entre otras razones. Véase generalmente en los párrafos 00101 y 00128-00141, de la patente DW Technology. Las Figs. 32A-32E y las Figs. 33A-33H de la patente DW Technology muestran dos realizaciones diferentes de procedimientos que utilizan una capa funcional que se aplica a una superficie de fusión.

De particular interés para las realizaciones aquí divulgadas es un revestimiento de capa funcional sobre la plantilla, de un tipo que impide el flujo de calor, de tal manera que se extrae menos calor de la masa fundida en la región de la plantilla que está provista de una capa funcional. (Así, dicha capa funcional es típicamente un detractor de la extracción de calor y su presencia crea una región de la plantilla con una propensión a la extracción de calor relativamente menor, en comparación con una región que no tiene material funcional de la misma propensión a la extracción de calor, o que es más delgado). Las capas funcionales pueden proporcionarse como revestimientos en la plantilla, o como formaciones de polvo proporcionadas en la superficie de la masa fundida en el lugar que será contactado por la plantilla. Dichos materiales funcionales pueden ser depositados por procedimientos conocidos en la técnica, incluyendo, pero no limitados a: recubrimiento de cortina, pulverización, recubrimiento de matriz de ranura, recubrimiento de menisco y otros, así como cualquier procedimiento apropiado no conocido, pero desarrollado o divulgado posteriormente. Los materiales funcionales también pueden proporcionarse como una capa intercalada de tipo lámina independiente que se coloca entre la plantilla y la superficie fundida de alguna manera.

Una capa intercalada independiente puede estar adherida o asegurada de otra manera a la plantilla, o colocada por separado. Dichas capas de interposición son hasta cierto punto formas independientes de capas funcionales. Dichas capas de intercalación se describen en la solicitud estadounidense publicada n° 13/990,498, la fase nacional estadounidense de la solicitud PCT n°. PCT/US11/62914, presentada el 1 de diciembre de 2011, en la que se reivindica la prioridad de las solicitudes provisionales presentadas el 1 de diciembre de 2010, Publicada como US-Publication n° 2014-0113156-A1, el 24 de abril de 2014, titulada MAKING SEMICONDUCTOR BODIES FROM MOLTEN MATERIAL USING A FREE-STANDING INTERPOSER SHEET, a la que se hace referencia en el presente documento como solicitud de patente de tecnología de capas intercaladas.

Establecer localmente el grosor o el material de una capa funcional en la plantilla también puede utilizarse para controlar el grosor de porciones de una oblea formada sobre una plantilla. Por ejemplo, como se muestra esquemáticamente en las Figs. 12A, 12B, 12C y 12D, una capa funcional puede ser depositada en una plantilla 1200 en sí misma, en lugar de en una superficie de un fundido. La capa funcional puede depositarse en dos pasos: como se muestra en la Fig. 12A, un primer paso en el que una primera capa 1252 se deposita uniformemente sobre toda la superficie 1250 de una plantilla 1200; y como se muestra en la Fig. 12B y la Fig. 12C un segundo paso en el que se utiliza una máscara 1253 para cubrir el perímetro 1230 de la plantilla 1200 (que se cubre completamente con la primera capa 1252 de material funcional). A continuación, como se muestra en la Fig. 12C, se deposita una capa adicional 1258 de material funcional en la región interior 1220 de la plantilla 1200. A continuación, se retira la máscara 1253, como se muestra en la Fig. 12D, dejando la capa funcional cubriendo toda la superficie 1250 de la plantilla 1200, con una región más profunda y gruesa de la capa funcional 1258 en el interior 1220, y una región más superficial y fina 1252 alrededor del perímetro 1230. La superficie 1250 cubierta con las capas funcionales 1252 y 1258 se convierte en la superficie de fusión 1256 de la plantilla 1200 tal como se utilizará.

La plantilla 1200 puede utilizarse entonces para formar una oblea semiconductor sobre ella. Por ejemplo, tal como se utiliza, se voltearía verticalmente desde la orientación mostrada en las Figs. 12A-12D, a la mostrada en la Fig. 12E, de modo que la superficie de fusión 1256, que constituye la superficie original 1250, cubierta con las capas funcionales más gruesas de dos niveles, 1252 y 1258, esté orientada hacia abajo, hacia la superficie del material fundido. Esta superficie cubierta se pone entonces en contacto con una superficie de un volumen de material fundido, como se describe en la patente DW, por ejemplo en la Par. 0047 mostrada en las Figs. 3A y 3B (para realizaciones sin capa funcional).

Las capas funcionales reducen la cantidad de calor extraído de la piscina de silicio líquido, en comparación con la cantidad que se extraería en su ausencia (y por lo tanto es un detractor de extracción de calor). Así, en la región interior 1220, donde la capa funcional 1258 es más gruesa que el perímetro 1230, que lleva sólo una capa funcional 1252, se formará una porción más delgada de una oblea adyacente a ese centro 1220, porción interior de la plantilla.

Por lo tanto, se obtendrá una oblea 100 como la mostrada en la Fig. 1, con una región interior 120 más delgada y una región perimetral 130 más gruesa.

Las capas funcionales pueden aplicarse como un polvo o espray u otro material fluido, como se ha descrito anteriormente, o pueden aplicarse como parte de una capa de interposición libre, como se describe en la solicitud de patente de tecnología de capa de interposición identificada anteriormente. Las Figs. 13A-13C muestran, esquemáticamente, una configuración con una plantilla 1300 (Fig. 13A) y una primera capa intercalada 1352 (Fig. 13B) para establecer el grado de extracción de calor para toda la superficie de la oblea, y luego una segunda capa intercalada 1358 (Fig. 13C), que se coloca en la porción interior 1320 de la superficie de la plantilla 1300, de modo que el espesor total de la primera capa de interposición 1352 y la segunda capa de interposición 1358 juntas en la región interior 1320 es mayor (más grueso) que el espesor total de la capa de interposición 1352 sola alrededor del perímetro 1330 de la plantilla 1300.

La plantilla 1300 se utilizaría, como se muestra en la Fig. 13D, orientada como se muestra allí, dándole la vuelta con respecto a la orientación mostrada en la Fig. 13C, de modo que las capas funcionales 1352 y 1358 formen una superficie de fusión 1356, que se pone en contacto con la superficie de un cuerpo de material semiconductor fundido, como se ha comentado anteriormente. La cara posterior 1354 de la plantilla 1300 está orientada hacia el exterior del material fundido. La capa relativamente más gruesa de capas intercaladas 1352 más 1358 en la porción interior 1320, en comparación con la capa única 1352 en la región perimetral 1330, da como resultado un menor flujo de calor y una menor extracción de calor en el interior 1320, en comparación con alrededor del perímetro 1330. Así, se forma una región interior más delgada de una oblea sobre la plantilla 1300. El proceso que utiliza las capas intercaladas libres es similar al que se utiliza con las capas funcionales de polvo u otros fluidos, pero con las capas intercaladas no se requiere una máscara, porque la capa intercalada puede colocarse individual y directamente mediante manipuladores mecánicos. No se requiere ninguna máscara. Normalmente, una capa intercalada es también un detractor de extracción de calor, que reduce la región local de la propensión de la plantilla a extraer calor.

Las Figs. 14A y 14B muestran, de forma esquemática, una configuración para proporcionar una plantilla para producir una oblea que tiene franjas que son más gruesas que el interior de la oblea, como se muestra en la Fig. 2, y la Fig. 4 y puntales más gruesos y/o islas, como se muestra en las Figs. 8, 9 y/o 10. Se proporciona una plantilla 1400, que tiene una superficie 1456, que se convertirá en la superficie de fusión durante el uso, que está cubierta con una primera capa uniforme 1452 de material funcional, que se muestra con rayas cruzadas en la Fig. 14. En la Fig. 14A se muestran siete parches de esta primera capa uniforme 1452 de material funcional, como se describe a continuación con más detalle. Por superficie hacia la fusión, se entiende una superficie que se enfrenta y luego entra en contacto con la fusión durante la formación de la oblea. Se proporciona material funcional adicional en forma de tres regiones de forma irregular de material funcional 1465a, 1465b y 1465c (mostradas como blanco sólido en la Fig. 14A). Esto da lugar a una única capa de material funcional que cubre las regiones de la plantilla en forma de franjas 1460a, 1460b, y, o regiones de puntal 1462a, 1462b o islas 1464a, 1464b. Las regiones adicionales de material funcional (que por lo tanto ascienden a dos capas de material funcional en sus ubicaciones) 1465a, 1465b y 1465c, pueden proporcionarse como revestimientos, como por ejemplo a través de una máscara de las correspondientes formas negativas, o como elementos intercalados independientes.

Las regiones de plantilla de las franjas 1460a, 1460b, etc., (que están cubiertas con una sola capa de material funcional) darán como resultado una plantilla, que extraerá menos calor en las ubicaciones de las dos capas de material funcional, mostradas sin sombreado cruzado como 1465a, 1465b y 1465c, y más calor en las regiones de plantilla que tienen una sola capa de material funcional, mostradas con sombreado cruzado como en 1460a, 1460b, 1462a, 1462b y 1464a, 1464b, etc., y, por lo tanto, dará lugar a una oblea formada con franjas más gruesas en los lugares que corresponden a las franjas 1460a, 1460b de una capa de material funcional. Del mismo modo, las regiones de rayas cruzadas más cortas 1462a, 1462b, con una sola capa de material funcional, darán como resultado unas lengüetas más cortas y gruesas en el material conformado donde se forman, y las islas de la superficie de la plantilla 1464a, 1464b que están cubiertas con una sola capa de material funcional, darán como resultado unas islas de oblea más gruesas, como las que se muestran en la Fig. 10.

La Fig. 14B muestra la plantilla 1400, orientada como se utilizaría, con la superficie hacia la fusión 1456 mostrada hacia abajo, de modo que la superficie que está provista de las capas funcionales estampadas entrará en contacto con la superficie del material fundido, y la cara posterior 1454 de la plantilla 1400 orientada hacia fuera de la fusión.

El material funcional puede ser proporcionado en forma fluida, como polvo o líquido, ya sea por colocación directa por un sistema de colocación de líquido o polvo, o por el uso de una máscara que permite la deposición del material funcional fluido en todas partes, pero que protege regiones seleccionadas de la superficie de la plantilla 1454 de recibir material funcional.

Considerando de nuevo una realización como la mostrada con referencia a las Figs. 12D y 12E, típicamente, para crear efectivamente una diferencia en la propensión a la extracción de calor, existe una diferencia de espesor de unas veinte micrómetros entre el espesor del material funcional 1252, que cubre toda la superficie 1250 (Fig. 12A) de la plantilla 1200, en comparación con el espesor total del material funcional 1258 y 1252, que cubre el interior 1220 de la plantilla 1200. Este espesor de veinte micrómetros es pequeño, pero no es despreciable, y puede ser

detectado visualmente o táctilmente en una oblea formada con una plantilla que está provista de un material funcional. (La capa base de material funcional podría tener este grosor, o más, o menos. Por ejemplo, la capa base podría tener un grosor de 40 micrómetros, y la capa exterior de 20 micrómetros, para un total de 60 micrómetros de grosor. O bien, los materiales funcionales podrían ser de materiales diferentes entre sí).

5 Esto se muestra esquemáticamente con referencia a la Fig. 15 y la Fig. 16, que muestran una sección transversal parcial a través de una porción de una oblea y una plantilla sobre la que se ha formado la oblea (el lado izquierdo, como se muestra en la Fig. 12E, análogo a las porciones izquierdas de las Figs. 1B, 5B, 6B y 7B,). Se ha formado una oblea 1500 contra una plantilla 1200, que es esencialmente la misma que la plantilla 1200 mostrada en la Fig. 12E. La plantilla tiene un material funcional que tiene una primera capa general 1252 que cubre toda la extensión de la plantilla 1200, y una segunda capa 1258 en la región interior. Por lo tanto, el espesor de la capa funcional en el interior es más grueso. La oblea formada 1500 tiene una sección perimetral más gruesa 1530, y una sección interior más fina 1520. La oblea no es plana en la superficie 1556 que se enfrenta a la superficie de fusión 1256 de la plantilla 1200. Más bien, la superficie 1556 que da a la plantilla de la oblea 1500 tiene una sección rebajada 1557 (quizás se vea mejor en la Fig. 16), que se debe a la diferencia de altura de las regiones combinadas de material funcional en el interior 1258 y en el conjunto 1252. La capa global 1252 es el único material funcional presente en la región perimetral de la plantilla 1230. En una realización representativa de una oblea de una realización de la presente invención, este rebaje puede tener una profundidad de aproximadamente 20 micrómetros (en la dirección del grosor de la oblea 1500), en el caso de una oblea que tiene una sección interior 1520 que tiene un grosor de aproximadamente 100 micrómetros, y una región perimetral 1530 que tiene un grosor de entre 200 y 250 micrómetros.

Puede observarse que la región perimetral 1530 de la oblea cultivada 1500 es efectivamente también más gruesa que la región interior 1520, y el perímetro se extiende lejos de un nivel de base 1521 de la sección interior. Para los tamaños mencionados anteriormente, el perímetro constituye una porción elevada en comparación con la región interior que se extiende a unos 100-150 micrómetros de distancia del nivel de base 1521. (La Fig. 16, y las demás figuras, no están a escala).

Una razón importante por la que la porción perimetral 1530 es más gruesa que la porción interior 1520 y se extiende fuera de ella es porque la propensión a la extracción de calor de la plantilla revestida 1200 es mayor en el perímetro 1230 que en el interior 1220, porque hay un menor grosor de material funcional alrededor del perímetro 1230 (es decir, sólo hay una capa 1252 en el perímetro, pero hay una capa 1258 y también una capa 1252 en el interior), y menos restricción en el flujo de calor y la cantidad de extracción de calor, que hay en la sección interior 1220. Las capas de material funcional 1258 y 1252 pueden ser del mismo material y de las mismas propiedades térmicas, en cuyo caso la diferencia de grosor da lugar a la diferencia en la propensión a la extracción de calor. Las capas 1258 y 1252 también pueden ser de diferentes materiales o densidad, de manera que sus propiedades térmicas sean diferentes, en cuyo caso podría ser que una instancia más delgada de un material funcional de un primer material tuviera un mayor efecto en la extracción de calor que una instancia más gruesa de un material funcional de un segundo material diferente. Esto se discute con más detalle a continuación, en el contexto de la discusión de otros tipos de plantillas y otros procedimientos de variación de la propensión a la extracción de calor a través de la superficie de la plantilla.

La presencia de un pequeño rebaje debido a la región ligeramente más gruesa de material funcional en las regiones en las que se desea que la oblea crecida sea relativamente más gruesa, como la mostrada en 1557, estaría presente tanto si el material funcional se proporciona como un revestimiento, como de material fluido (ya sea líquido o partículas) o como una lámina intercalada libre. También estaría presente en el caso de otras geometrías de oblea, como las que constituyen franjas más gruesas, puntales e islas, como se muestra con referencia a la Fig. 10 (para una oblea) y las Figs. 14A y 14B (que muestran una plantilla).

45 **Plantilla con regiones específicamente diseñadas de diferente grosor**

Como se muestra esquemáticamente con referencia a la Fig. 17, también se puede proporcionar una plantilla 1700 con un grosor variable sobre su área de superficie para producir obleas con diferentes grosores en diferentes lugares específicamente diseñados y controlados del área de superficie de la oblea. Dicha plantilla tiene una superficie de fusión 1756 y una superficie posterior 1754. Por superficie hacia la fusión, se entiende una superficie que se enfrenta y entra en contacto con la fusión durante la formación de la oblea. Típicamente, cuando la superficie hacia la fusión 1756 de la plantilla 1700 entra en contacto por primera vez con la masa fundida, la superficie de la plantilla 1754 está a una temperatura inferior a la de la temperatura de solidificación del silicio. El calor se extrae de la masa fundida por conducción (a través de cualquier capa funcional que esté presente, como se ha comentado anteriormente y) hacia la plantilla 1700. La plantilla se calienta y esto limita el grosor de la oblea que se crea sobre ella. Esto se debe a que, cuando la plantilla se calienta hasta la temperatura de fusión del semiconductor, el material ya no puede solidificarse contra la plantilla en los lugares que se han elevado hasta la temperatura de fusión. Cuanto más gruesa es una región de la plantilla, más tiempo tarda la región en calentarse hasta esta temperatura, y más grueso es el material de la oblea que se solidifica contra la plantilla en las regiones más gruesas, en comparación con las regiones más delgadas de la plantilla. Por lo tanto, una región más gruesa de la plantilla tiene más potencial/propensión de extracción de calor que una región más delgada. Por lo tanto, una región más gruesa de la

plantilla es un potenciador de la extracción de calor, y una región más fina de la plantilla es un detractor de la extracción de calor.

Así, en otra realización de un procedimiento de la presente invención, mostrada esquemáticamente con referencia a la Fig. 17, el grosor de la plantilla 1700 en sí puede ser diferente de una región de la plantilla, por ejemplo una región interior 1720, a otra región, por ejemplo, una región perimetral 1730. Si hay relativamente menos masa térmica en la plantilla 1700, por ejemplo, haciendo ciertas regiones, como la región interior 1720 localmente más delgada que otras regiones, como la región perimetral 1730, habrá menos masa térmica, menos extracción de calor, y el interior 1720 de la plantilla 1700 se calentará hasta la temperatura de fusión con relativa rapidez, en comparación con las regiones perimetrales 1730 más gruesas, y por lo tanto, en las regiones más delgadas de la plantilla 1720, se solidificará menos silicio, dando como resultado una oblea localmente más delgada, por ejemplo, en su región interior, como se muestra con referencia a la oblea 100 en la Fig. 1 y la Fig. 1A.

Debe notarse que no es obvio, contrario a la intuición y novedoso, que la plantilla 1700 formará una oblea como la mostrada en 100 de la Fig. 1, que tiene un perímetro grueso 130 y un interior más delgado 110, contactando la superficie sustancialmente plana de la plantilla, hacia la fusión 1756, con la superficie de la fusión. Como se muestra esquemáticamente con referencia a la Fig. 18, que muestra, en sección transversal, una porción de una oblea 100, como la mostrada en la Fig. 1, cultivada sobre un molde 1700 como el mostrado en la Fig. 17, la oblea 100 crece lejos de la superficie hacia la fusión 1756 de la plantilla 1700, hacia la fusión. Pero, debido a las diferentes propensiones de extracción de calor de la porción interior 1720 y la porción perimetral 1730 de la plantilla 1700, debido a los diferentes espesores de las mismas, como se ve desde la superficie posterior 1754, la oblea 100 crecida tendrá un espesor que cualitativamente (pero no cuantitativamente) refleja el de la plantilla 1700, con un perímetro grueso 130 y un interior delgado 120. (El grado de diferencia de los espesores de las porciones delgadas y gruesas de la plantilla y de la oblea será diferente entre sí, y la Fig. 18 es sólo esquemática y no está a escala).

La superficie no plana 154 de la oblea formada 100 (orientada hacia el espectador en la Fig. 1, mostrada en la Fig. 1A) crecerá, creciendo y orientándose en dirección contraria a la superficie hacia la fusión 1756 de la plantilla. Por lo tanto, la superficie sustancialmente plana 156 de la oblea formada 100 se forma sobre y se acopla a la superficie sustancialmente plana hacia la fusión 1756 de la plantilla 1700, mientras que las caras no planas de cada una de las obleas 100 (cara 154) y la plantilla 1700 (cara posterior 1754) se alejan una de otra.

(Cabe señalar también que, en la práctica, la plantilla dejaría de extraer suficiente calor para continuar el crecimiento de la oblea algo antes de que la temperatura de la plantilla alcance el punto de fusión del silicio. La plantilla tiene una capacidad térmica relativamente pequeña en comparación con el silicio fundido y el crisol, que generalmente están a la temperatura del silicio fundido, o más alta, y la plantilla sólo enfría el fundido localmente. A medida que la plantilla se calienta, la tasa de extracción de calor disminuye y finalmente será inferior a la necesaria para compensar la entrada de calor del resto de la masa fundida, para enfriar una capa local de material fundido por debajo del punto de fusión y superar el calor de fusión).

Debe notarse que tanto para una plantilla que opera con porciones tratadas con material funcional, como la plantilla 1200 mostrada en la Fig. 15, como para una plantilla que opera con porciones de diferentes espesores, como la plantilla 1700, mostrada en las Figs. 17 y 18, la superficie de fusión, superficies 1256 y 1756, respectivamente, es sustancialmente plana, sin embargo las obleas crecen con sus superficies no planas, 1554 y 1754, respectivamente, orientadas hacia fuera de las plantillas respectivas que las controlan.

También es posible proporcionar una plantilla que tenga diferentes espesores en diferentes regiones que correspondan a las otras geometrías de oblea expuestas anteriormente. Por ejemplo, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 19, es posible proporcionar una plantilla 1900 que tiene una cara de fusión generalmente plana 1956, (no visible en la Fig. 19) y una cara posterior 1954 y una región interior general 1920 que es relativamente delgada. La región delgada 1920 establece un nivel de base, desde el cual se extienden porciones elevadas, o protuberancias, de tal manera que el espesor de la plantilla en las ubicaciones de las protuberancias es más grueso que un nivel de base, la porción más delgada 1920. Las protuberancias pueden tener las formas y las ubicaciones de un perímetro 1930, uno o más de: una franja 1960, un puntal o lengüeta 1940, y una isla 1942, etc., como se ha comentado anteriormente. La cara posterior 1954 de dicha plantilla sería no plana, y la plantilla tendría propensiones de extracción de calor que son mayores en las ubicaciones específicamente diseñadas 1930, 1940, 1942, 1960, donde la plantilla es más gruesa. Por lo tanto, la oblea formada sobre dicha plantilla tendría regiones más gruesas en las ubicaciones correspondientes a las protuberancias elevadas, de manera similar a la que tiene el perímetro más grueso 130 de la oblea 100, cuando se cultiva sobre la plantilla 1700 con el perímetro más grueso 1730. Las porciones más gruesas de la oblea crecen en la masa fundida.

En general, un área pequeña en una plantilla que es gruesa tendrá una mayor relación superficie/volumen, que un área más grande de una plantilla, por lo que habrá relativamente más borrosidad del potencial de extracción de calor en el perímetro. Por ejemplo, para conseguir un perímetro de 200 micrómetros de grosor y también para conseguir una pequeña isla de 200um de grosor, que tendría una mayor relación superficie/volumen que el perímetro, un diseñador probablemente necesitaría hacer la región de la plantilla que establecerá la isla más gruesa que la región de la plantilla que establecerá el perímetro (o cualquier región que sea más grande y tenga menos superficie para la pérdida de calor por volumen de capacidad térmica a granel).

La Fig. 19A muestra la plantilla 1900 de la Fig. 19, cortada en la sección A-A, mostrando la región interior más delgada 1920, la región perimetral más gruesa 1930, que dará lugar al crecimiento de una región perimetral más gruesa 130 en una oblea 100, como se muestra en la Fig. 1, o como se muestra en la Fig. 10, el perímetro 1030. También se muestra en la Fig. 19, una región más gruesa 1940 de la plantilla, que daría lugar a un puntal o pestaña más gruesa, como 1040a, 1040b, como se muestra en la Fig. 10, y también una región más gruesa 1960 de la plantilla, que daría lugar a una franja más gruesa, como 240a, 240b, como se muestra en la Fig. 2.

La Fig. 19B muestra la plantilla 1900 de la Fig. 19, cortada en la sección B-B, mostrando, como arriba, la región interior más delgada 1920, la región perimetral más gruesa 1930 y una región más gruesa 1950, que daría lugar a una franja más gruesa. Entre la región perimetral más gruesa 1930 y la región de la franja más gruesa 1960, se encuentra una región más gruesa 1942, que daría lugar al crecimiento de una isla más gruesa, tal como se muestra en 1042a, 1042b en la Fig. 10.

La Fig. 20A muestra, en sección transversal, la misma porción de la plantilla 1900 de la Fig. 19A, asociada con una sección transversal de una porción de una oblea 2000, que sería cultivada sobre la plantilla 1900, mostrando la región perimetral más gruesa 2030 emparejada con la región de la plantilla más gruesa 1930, la lengüeta más gruesa o la región de puntal 2040 de la oblea y la región de la franja más gruesa 2060. La Fig. 20B muestra la porción de la plantilla 1900 de la Fig. 19B, asociada con una sección transversal de una porción de la misma oblea 2000, que sería cultivada sobre la plantilla 1900, mostrando también la región perimetral más gruesa 2030 y la región de franja más gruesa 2060, y también una región de isla más gruesa 2042. Al igual que con el par de plantilla y oblea más simple mostrado esquemáticamente con referencia a la Fig. 18, se puede ver que, las regiones relativamente más gruesas de la oblea crecida crecen lejos de la plantilla, en la masa fundida, de tal manera que la oblea crece en una configuración cualitativamente similar a un espejo en comparación con la plantilla. (Al decir cualitativamente, se quiere decir que las regiones más gruesas y más delgadas son adyacentes/espejadas entre sí, pero no son cuantitativamente espejadas, lo que significa que su extensión lateral a lo largo de la oblea coincide y es esencialmente igual en tamaño-extensión, pero sus proyecciones alejadas entre sí no son iguales en tamaño).

Las plantillas con dicho nivel de base y protuberancias pueden fabricarse por cualquier medio adecuado, como por ejemplo mediante el mecanizado convencional, con operaciones de fresado, taladrado o aserrado. Por ejemplo, un procedimiento consiste en mecanizar una lámina fina de material asegurándola mediante un mandril de vacío, mientras se fresa convencionalmente una cavidad en la región de la plantilla que va a tener un espesor reducido. El mecanizado por láser es otro procedimiento alternativo que alivia los requisitos de fijación al evitar las fuerzas de corte.

Otro medio para variar el espesor de la oblea formada se relaciona con la aplicación de un grado diferente de una presión diferencial aplicada durante la formación de la oblea. La patente de la tecnología Direct Wafer discute la provisión de un diferencial de presión a través de la cara del molde, en comparación con una región en la superficie de fusión, cuyo diferencial de presión es típicamente un vacío en la cara del molde, en comparación con la presión atmosférica en la superficie de fusión. Se ha determinado que tener un diferencial de presión relativamente mayor en una región de la plantilla, tal como una región perimetral, en comparación con el diferencial de presión en otra región de la plantilla, tal como la región interior, resultará en más flujo de calor y más extracción de calor allí en los lugares de mayor diferencial de presión. Se cree que esto se debe a que el mayor nivel de vacío resulta en una mayor tasa de transferencia de calor a la plantilla, solidificando así el silicio más rápidamente y en una cantidad máxima más gruesa.

De hecho, se ha determinado que las regiones de mayor diferencial de presión tienen una mayor propensión a la extracción de calor, y además, se ha determinado que las regiones de oblea formadas contra dichas regiones de plantilla de mayor diferencial de presión son relativamente más gruesas que las regiones de oblea crecidas adyacentes o enfrentadas a regiones de menor diferencial de presión. En los términos discutidos anteriormente, un diferencial de presión mayor es un potenciador de la extracción de calor, y un diferencial de presión menor es un detractor de la extracción de calor. Por lo tanto, es una realización de la presente invención proporcionar diferentes niveles de presión diferencial dispuestos de acuerdo con los lugares específicamente diseñados donde se desea tener diferentes espesores en la oblea formada.

La patente de la tecnología Direct Wafer discute formas de proporcionar una presión diferencial relativamente mayor (como un vacío más fuerte) en un lugar en comparación con otro. Una forma de hacerlo, mostrada en la Fig. 27 de la patente de tecnología DW y discutida en los par. 00160, 00163 de la misma, es proporcionar un pleno doble, con una primera región interior que se mantiene a una primera presión, y un segundo pleno de la región perimetral que se proporciona con un diferencial de presión diferente. De este modo, se puede proporcionar un mayor diferencial de presión en la región perimetral, cuyo mayor diferencial de presión también mejoraría el flujo de calor, extrayendo así más calor de la masa fundida en la región perimetral, lo que daría lugar a una oblea más gruesa en la región perimetral. (La razón para tener un molde de doble recinto que se discute en la patente de DW es totalmente diferente, y se utilizaría de manera diferente, a una razón para establecer diferentes regímenes de presión diferencial alrededor del perímetro en comparación con el interior, para crear un interior más delgado. Una de las razones para un dispositivo de doble recinto discutido en relación con la Fig. 27 en el par. 00114, es para ayudar a retirar una oblea de la superficie de formación después de que se haya formado, evitando la formación de obleas

cerca de los bordes relativamente afilados y retentivos de un molde. Otra razón, discutida en el par. 00118 de la patente de tecnología DW, es para ayudar a asegurar la propia lámina del molde al conjunto del pleno de vacío).

Otro procedimiento para variar el grosor de la oblea que se está formando es variar el grado de presión diferencial aplicada, proporcionando material funcional, como revestimientos, que tengan diferentes grados de permeabilidad en una región de la plantilla, en comparación con otra. Tal estructura se discute en la patente de tecnología DW en el par. 00118, en la que se habla de un revestimiento no permeable 2712 en la cara posterior de la lámina del molde 2705 en la zona en la que no se desea el vacío. Ejemplos de tales recubrimientos son CVD SiN (Nitruro de Silicio) o grafito pirolítico. Todas las capas de materiales funcionales, como las discutidas anteriormente, son permeables hasta cierto punto, pero podrían utilizarse materiales funcionales con diferentes grados de permeabilidad pero con propiedades por lo demás similares (espesor, masa térmica, conductividad térmica, etc.) para crear diferentes espesores. En los términos comentados anteriormente, una capa de material funcional con una mayor permeabilidad, que podría conducir a un mayor diferencial de presión, es un potenciador de la extracción de calor, y una menor permeabilidad, que podría conducir a un menor diferencial de presión, es un detractor de la extracción de calor. Sin embargo, se espera que sea una propiedad relativamente menos influyente de un material funcional, como un revestimiento, con respecto al espesor de la oblea.

En otra realización del procedimiento aquí descrito, la temperatura de la plantilla puede variar localmente durante una fase de precalentamiento antes de ponerla en contacto con la masa fundida. En las regiones en las que la temperatura de la plantilla es más baja (más fría), se congelará un mayor grosor de silicio, dando lugar a una región más gruesa. Así, para conseguir una región perimetral más gruesa de una oblea, el perímetro de la plantilla se mantendría a una temperatura más baja que el interior de la plantilla. (O, dicho de otro modo, para lograr esa región perimetral más gruesa, el interior de la plantilla podría calentarse o mantenerse a una temperatura más alta que la región perimetral de la plantilla). En los términos expuestos anteriormente, una región de menor temperatura de una plantilla es un potenciador de la extracción de calor, y una región de mayor temperatura de una plantilla es un detractor de la extracción de calor. En general, la temperatura de la plantilla es un mecanismo importante para el control del espesor. Sin embargo, en una base lo suficientemente local para crear las estructuras discutidas aquí, se cree que otras técnicas discutidas aquí son más prácticas y rentables. Sin embargo, en la medida en que las consideraciones de coste y efecto pesen en la balanza del ajuste de la temperatura de la plantilla, éste podría conseguirse por medios convencionales, como elementos calefactores con forma, escudos térmicos o refrigeración local. El efecto del engrosamiento en el perímetro de la oblea puede ser más gradual en el caso de este procedimiento de variación local de la propensión a la extracción de calor, lo que resulta en una transición más suave entre el perímetro más grueso y la región interior más delgada. Incluso con una región perimetral relativamente amplia, por ejemplo, de 10 mm de grosor, el 76% de la zona central interior de la oblea sería relativamente más delgada y seguiría proporcionando las ventajas de un menor uso de silicio y una mayor eficiencia.

Otro procedimiento para extraer más calor de la región perimetral, y por lo tanto proporcionar una oblea que tenga una región perimetral más gruesa, se muestra con referencia a la Fig. 21. Esto consiste en proporcionar propiedades térmicas diferentes para la región perimetral de la plantilla, que para su interior, típicamente proporcionando orificios, ya sea en el interior o en el perímetro o en ambos, con los orificios vacíos o parcialmente llenos, o una combinación de los mismos.

Una forma de proporcionar diferentes propiedades térmicas para una región de un molde, en comparación con otra, se describe en la patente de tecnología de obleas directas en los párrafos 00103-00104. (Este procedimiento no está destinado a producir obleas con regiones de diferente grosor, ni se ha contemplado o discutido esa posibilidad. Su objetivo es efectuar la propagación lateral en el plano de la interfaz sólido-líquido, sin necesidad de un menisco dinámicamente estable. Esto se consigue variando espacialmente la tasa de transferencia de calor en la lámina del molde mediante la variación de las propiedades y la geometría del molde).

La Fig. 20 de la patente DW muestra huecos espaciados 2016 (los números de referencia en este párrafo se refieren a las figuras de la patente DW) dentro del cuerpo 2005 de la lámina de molde, de tal manera que porciones de la lámina de molde (en los huecos 2016) son esencialmente más delgadas que otras porciones del molde (aquellas ubicaciones 2004 entre los huecos). Las porciones en los huecos son esencialmente más delgadas que las otras regiones entre los huecos.

En relación con las presentes realizaciones, tal y como se muestra esquemáticamente con referencia a la Fig. 21 de la presente solicitud, es posible utilizar una plantilla 2100, provista de un campo de orificios 2102 situados en su interior 2120 pero no alrededor de su perímetro 2130. En general, los orificios pueden tener un diámetro bastante pequeño, y pueden estar espaciados muy estrechamente entre sí. Los orificios pueden, por ejemplo, tener un espacio entre centros del orden del grosor de la plantilla o menor. Por ejemplo, en una plantilla de grafito de 1 mm de grosor (desde la superficie de fusión hasta la superficie posterior), los orificios podrían tener 0,5 mm de diámetro y 0,6 mm de profundidad, con un espaciado de 1 mm. Por lo general, se prefiere una disposición de espaciado hexagonal, pero también es beneficiosa una disposición cuadrada. El diámetro de los orificios es igualmente del orden del grosor de la plantilla, o menor. La profundidad de los orificios puede ser de cualquier tamaño que proporcione un cambio efectivo en la propensión a la extracción de calor, lo que típicamente significaría al menos la mitad del espesor de la plantilla, y, el límite superior es todo el espesor de la plantilla.

Los orificios pueden ser ciegos, lo que significa que pasan sólo parcialmente a través del espesor de la plantilla, con su extremo abierto típicamente en la cara posterior 2154 de la plantilla 2100, que está orientada hacia el exterior del material fundido. La cara hacia la fusión 2156 está orientada hacia el material fundido y, al menos en lo que respecta a los orificios que la atraviesan, es generalmente lisa (es decir, no está perforada por ningún orificio). O bien, los orificios podrían fabricarse estableciendo primero orificios ciegos con su extremo abierto en la cara posterior de la plantilla, y luego tapando esa cara posterior, de modo que haya una región vacía atrapada entre dos regiones llenas o sólidas, para al menos algunos de los orificios.

Si los orificios son ciegos, y están vacíos, con sus extremos intactos y cerrados en la superficie hacia la fusión 2156, de cara al material fundido, y sus extremos abiertos en la superficie posterior 2154, de cara al material fundido, y se dejan vacíos, crean efectivamente regiones de plantilla más delgadas en sus ubicaciones, lo que resultará en una menor extracción de calor de la fusión en esas ubicaciones, resultando en cuerpos de obleas más delgados adyacentes a esas ubicaciones. Por lo tanto, si los orificios se dejan vacíos, y están lo suficientemente juntos, y son lo suficientemente pequeños para fines de extracción de calor, para crear esencialmente una región continua de plantilla más delgada dentro del interior, la plantilla sería efectivamente más delgada en su interior (análoga a la región interior 1720 del molde 1700 mostrado en la Fig. 17) y una oblea formada con una plantilla provista de un campo de orificios vacíos y ciegos dentro de su interior, tendría una región interior más delgada, tal como se desea, y se muestra esquemáticamente en la Fig. 1.

Por lo tanto, proporcionar vacíos, o orificios es una forma alternativa de hacer regiones de la plantilla relativamente más delgadas que otras. Así, una pluralidad de huecos en una región de la plantilla, resulta en una región de la plantilla más delgada y por lo tanto constituye un detractor de la extracción de calor. El uso de orificios, en contraposición a una región continua más delgada, como en 1720 de la Fig. 17, puede dar lugar a una plantilla con menor masa térmica, lo que resulta en una menor extracción de calor, pero con más resistencia mecánica, que la forma continuamente más delgada mostrada en la Fig. 17.

Los orificios pueden ser formados por medios mecánicos conocidos. Un procedimiento sería perforar los orificios en los lugares deseados. Otro procedimiento sería proporcionar una pluralidad de cortes de sierra paralelos y estrechamente espaciados con una hoja de sierra circular, que no pase por completo a través de la plantilla, espaciada por el espacio deseado de los orificios. A continuación, podría proporcionarse un segundo conjunto de cortes de sierra paralelos, orientados perpendicularmente (o al menos de forma aproximada) a la primera pluralidad, también separados por la distancia deseada entre orificios (teniendo en cuenta también el corte de la sierra). Esto daría lugar a una pluralidad de estructuras en forma de pasador en las intersecciones de los espacios entre los cortes de la sierra. Las clavijas definen una cuadrícula de material restante, y los espacios entre todas las clavijas serían análogos a los orificios en la superficie, estableciendo así la región interior efectivamente más delgada de la plantilla.

Otra forma relacionada de proporcionar regiones de mayor extracción de calor relativo es proporcionar regiones de la plantilla que tengan más permeabilidad al gas que otras regiones. Las regiones de mayor permeabilidad permitirán que se aplique una mayor fuerza de presión relativa al cuerpo formador debido al régimen de presión diferencial, y por tanto una mayor extracción de calor debido al mayor diferencial de presión. El gradiente de presión para el flujo viscoso a través de un material poroso viene determinado por el caudal por la viscosidad dividido por la permeabilidad al gas del material. Esto se caracteriza por un fenómeno regido por las relaciones conocidas por los expertos como ley de Darcy.

Una forma de hacer esto ya se ha discutido anteriormente, proporcionando materiales funcionales que cambian la permeabilidad al gas de los lugares donde se proporcionan, o proporcionando materiales funcionales de diferente permeabilidad en diferentes lugares. En algunos casos, proporcionar un campo de orificios ciegos (o orificios abiertos) establecería una mayor permeabilidad al gas en la región donde hay orificios, en comparación con las regiones sin orificios. Por lo tanto, las regiones donde hay orificios ciegos pueden proporcionar una mayor extracción de calor, y por lo tanto, regiones más gruesas de semiconductor formado sobre ellos. Obsérvese que este efecto es el opuesto al discutido anteriormente, en el que las regiones más delgadas constituyen las de menor masa térmica, y por lo tanto, se forman porciones más delgadas de oblea adyacentes a las regiones de la plantilla con orificios. Los efectos de la mayor permeabilidad y de la menor masa térmica están bien definidos y la persona experta en la materia podrá comprender sus magnitudes relativas, por lo que podrá determinar y diseñar el efecto deseado mediante la elección adecuada de los tamaños y ubicaciones de los orificios. Se cree que, en general, el efecto sobre la masa térmica dominará las consideraciones, pero también hay que tener en cuenta los efectos de la permeabilidad.

También es posible rellenar los orificios con inserciones de un material cuyas propiedades térmicas sean tales que se extraiga más calor en sus proximidades que de las regiones no aumentadas de la plantilla. Así, los orificios perimetrales podrían rellenarse con dicho material, que es más masivo térmicamente que la porción mayor de la plantilla, de modo que el perímetro de la oblea formada será más grueso, como se desea, y como se muestra con referencia a la Fig. 1. Sin embargo, los procedimientos de inserción de materiales en tales orificios son algo difíciles.

Cuando se eligen los materiales para la plantilla, y cualquier inserto de la plantilla, y también cuando se considera si se dejan orificios en la plantilla vacíos, o cuán grandes (profundidad, diámetro) se hacen, el diseñador debe

considerar que tanto la conductividad térmica como la inercia térmica (capacidad de calor) pueden influir en el espesor de solidificación. Esto es análogo a lo que se ha dicho antes, en el sentido de que la transferencia de calor que determina el espesor tiene un aspecto transitorio (conductividad térmica) y un aspecto de estado estacionario (inercia térmica), debido a que hay una competencia entre el calor que se arrastra hacia la plantilla y el calor que se conduce hacia la oblea desde la masa fundida que está debajo.

Se puede utilizar una plantilla que tenga inserciones dispuestas en diferentes patrones, para producir otras geometrías de oblea como se ha comentado anteriormente. Los orificios pueden dejarse vacíos, para proporcionar regiones esencialmente más delgadas de la plantilla en las ubicaciones de los orificios vacíos, o pueden rellenarse con material que tenga propiedades térmicas para proporcionar una mejora o detracción de la extracción de calor en comparación con el cuerpo principal de la plantilla, dando así lugar a regiones más gruesas o más delgadas de la oblea en sus ubicaciones.

En la discusión anterior, se han discutido obleas delgadas con regiones perimetrales más gruesas. Los perímetros se han mostrado rodeando completamente la región interior, por ejemplo en cuatro lados, como se muestra en la Fig. 1. También es posible que menos de todo el perímetro sea más grueso que la región interior. Por ejemplo, uno, dos o tres bordes (denominados aquí borde) podrían ser más gruesos. O, en lugar de que toda la región del borde sea más gruesa, las regiones más gruesas podrían constituir porciones de un solo borde.

Además, la discusión anterior se centra en las obleas cuadradas estándar de la industria. Esta es la práctica más común hoy en día, pero las realizaciones aquí divulgadas son aplicables a obleas de cualquier forma, incluyendo rectángulos no cuadrados, círculos, triángulos, etc. Lo que importa es que haya una región generalmente delgada y al menos una región más gruesa en al menos una ubicación específicamente diseñada, midiéndose los espesores en la dirección que es ortogonal a la superficie (cuadrada, rectangular, circular, etc.) de la oblea. Una tendencia reciente (en el año 2015) de la industria es procesar completamente las obleas de silicio cuadradas de 156 mm en células solares cuadradas de 156 mm, aprovechando la infraestructura de la cadena de suministro y el equipo estandarizado para manejar este tamaño, pero cortándolas en medias células de 156 mm x 78 mm inmediatamente antes de tabularlas, encadenarlas y encapsularlas en un módulo. De este modo, se consigue una mayor tensión con una corriente menor y se minimizan las pérdidas de resistencia en serie. Para apoyar esta opción utilizando las obleas aquí divulgadas con control de espesor local, se puede proporcionar una cresta central a lo largo de una línea que se convertirá en la línea de corte para hacer medias células. La cresta sería similar a una franja 240b, como se muestra en la Fig. 2. La oblea podría entonces ser cortada a lo largo de la línea central de esta cresta/raja, que se convertiría entonces en una porción de los perímetros engrosados de las dos medias celdas que se forman.

En general, las obleas de las presentes realizaciones tendrán una porción relativamente más delgada y una porción relativamente más gruesa. En una realización preferida, la porción relativamente más delgada se extiende sobre al menos el 80% de la superficie de la oblea, y preferiblemente sobre al menos el 90%. Esto es para equilibrar el esfuerzo y el coste adicionales para producir una oblea más complicada con los beneficios del coste del material y la eficiencia obtenida de la delgadez y el ahorro de materiales. En general, la parte más delgada en un absoluto tendría un grosor de al menos 50 micrómetros y, para lograr las ganancias de eficiencia, de al menos 80 micrómetros. La relación entre el grosor de la porción más gruesa y el de la porción más fina suele ser de al menos 1,28:1 (por ejemplo, 180 micrómetros de perímetro con 140 micrómetros de interior) y puede llegar a ser de aproximadamente 3:1 o 5:1.

Las consideraciones generales son que la eficiencia de la porción más delgada se logra en cualquier tamaño hasta unas 80 micrómetros, dependiendo de la estructura celular específica utilizada. Las obleas de espesor estándar son de 180-200 micrómetros, y por lo tanto, las porciones más gruesas dentro de este rango de espesor serían una realización útil. Del mismo modo, la porción más gruesa podría tener un grosor de hasta 250 micrómetros para aumentar la resistencia, y seguir estando dentro de un rango de tamaño relativamente estándar. Así, se podría fabricar fácilmente una oblea con una porción delgada de hasta 80 micrómetros, y una porción más gruesa de hasta 200 e incluso 250 micrómetros. Una oblea de este tipo tendría una relación de grosor ligeramente superior a 3:1, con una porción más gruesa que se extendería 170 micrómetros por encima del nivel de base de la porción más delgada. Es concebible que se pueda obtener una utilidad con un interior ultrafino de unos 50 micrómetros, para ahorrar peso, y un perímetro relativamente grueso de 250 micrómetros, que está en el límite exterior del uso contemporáneo. Una oblea de este tipo tendría una relación entre grosor y espesor de 5:1.

También debe tenerse en cuenta que las proporciones anteriores de regiones gruesas y finas se presentan en el contexto de obleas de silicio estándar de la industria de 156 mm x 156 mm, o quizás obleas de la mitad de ese tamaño. Las consideraciones de tamaño anteriores se han desarrollado teniendo en cuenta la maquinaria y los procesos utilizados actualmente para dichas obleas. Sin embargo, para aplicaciones distintas de la fotovoltaica, o distintas de estos tamaños estándar de obleas, también se pueden fabricar cuerpos de mayor o menor tamaño en área mediante el uso de los procedimientos de la Patente de tecnología de fabricación directa de obleas, como mucho más pequeños, o algo más grandes en longitud o anchura o en ambas dimensiones. En el caso de estos cuerpos de tamaño no estándar, las relaciones entre el grosor y el espesor pueden situarse con mayor frecuencia en los límites de la gama mencionada anteriormente de 1,28:1 a 5:1. Del mismo modo, pueden ser más frecuentes las aplicaciones de obleas muy finas cercanas al tamaño de 50 micrómetros, o de obleas con porciones gruesas, como las cercanas a 250 micrómetros.

Cabe señalar que muchas/cualquiera de las técnicas anteriores para proporcionar una plantilla con diferentes propensiones de extracción de calor en diferentes ubicaciones pueden utilizarse con cualquier otra. Por ejemplo, una plantilla que tiene espesores variables en diferentes ubicaciones, ya sea con una densidad algo uniforme, tal como se muestra en la Fig. 17, o, con vacíos, creando una región de plantilla efectivamente más delgada o más permeable en sus ubicaciones, puede ser utilizada entre sí y también con la aplicación de capas funcionales, ya sea como revestimientos o como capas de interposición. Cualquiera de las diversas formas de regiones más gruesas mostradas en las geometrías de plantillas y obleas puede utilizarse con cualquier otra forma. Cualquiera de las plantillas discutidas anteriormente puede tener regiones calentadas o enfriadas u otro control o mejora de la temperatura de la plantilla específicamente local. Además, cualquiera de las geometrías de plantillas comentadas puede utilizarse con múltiples regímenes de presión diferencial de diferente, mayor y menor grado, establecidos con más de un pleno, o revestimientos de diferente permeabilidad, o diferentes porosidades de diferentes regiones de la plantilla.

La oblea crecida puede proporcionarse con regiones de porciones elevadas en ambas caras de la oblea crecida, es decir, la superficie que creció de cara a la plantilla, y la superficie que creció de cara a la masa fundida, proporcionando capas funcionales como las mostradas en la Fig. 15, que produce una oblea 1500, como se muestra en la Fig. 16, con porciones elevadas que se extienden desde ambas superficies de la oblea. Es posible proporcionar las capas funcionales con un grosor significativamente diferente (por ejemplo, mayor de 20 micrómetros), de manera que el salto 1557 en el grosor de la oblea sea significativamente grande, en comparación con el grosor del perímetro 1530 u otras regiones más gruesas. O bien, las capas funcionales pueden proporcionarse para establecer una diferencia en la altura de las porciones elevadas en la superficie que se enfrenta a la plantilla, y las diferencias en el grosor de la plantilla, o el diferencial de presión, etc. podrían utilizarse para proporcionar la altura de las porciones elevadas en la superficie hacia la fusión.

Por ejemplo, la realización del uso de materiales funcionales para controlar la extracción de calor puede ser utilizada como se ha discutido sola, o en combinación con cualquiera de los otros procedimientos, tales como el uso de plantillas de diferentes espesores locales, la aplicación de diferentes grados de presión diferencial, diferentes grados de porosidad, diferentes temperaturas locales de la plantilla, y diferentes grados de permeabilidad al gas. Del mismo modo, el uso de plantillas de diferentes espesores locales puede utilizarse con cualquiera de las otras técnicas mencionadas. Cualquiera de las geometrías puede utilizarse sola, o con cualquiera de las otras geometrías, o con cualquier otra geometría razonable no mencionada. Los perímetros gruesos pueden utilizarse con cualquiera o con todas las islas, los rellanos, las franjas, los bordes completos o parciales, y cualquiera de ellos puede utilizarse con cualquiera o con todos los demás.

Las realizaciones se han descrito principalmente con semiconductores de silicio para uso fotovoltaico. Sin embargo, las técnicas pueden utilizarse con cualquier semiconductor, para cualquier uso. Las obleas fotovoltaicas se han utilizado como un artículo representativo a fabricar, sin embargo, otros cuerpos semiconductores con diferentes tipos de conexiones eléctricas también pueden hacerse utilizando los procedimientos basados en plantillas divulgados.

La discusión anterior debe entenderse como ilustrativa y no debe considerarse como limitante en ningún sentido. Aunque las realizaciones se han mostrado y descrito particularmente con referencias a las realizaciones preferidas de las mismas, los expertos en la materia entenderán que pueden realizarse diversos cambios en la forma y los detalles sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de una oblea semiconductora (100), comprendiendo el procedimiento los pasos de:
 - a. proporcionar un material semiconductor fundido que tenga una superficie;
 - 5 b. proporcionar una plantilla (1200), que comprende un cuerpo poroso que comprende:
 - i. una superficie de fusión (1256);
 - ii. una superficie trasera;
 - iii. una primera región de plantilla (1220) que tiene una primera propensión a la extracción de calor;
 - iv. una segunda región de plantilla (1230) que tiene una segunda propensión a la extracción de calor,
 - 10 que es mayor que la primera propensión a la extracción de calor;
 - c. proporcionar un régimen de presión diferencial tal que la presión en al menos una parte de la superficie de fusión (1256) sea menor que la presión en la superficie del material semiconductor fundido; y
 - d. poner en contacto la superficie de fusión (1256) de la plantilla con la superficie del material semiconductor fundido durante al menos una parte de la duración del contacto, durante la cual la superficie de fusión (1256) y el material semiconductor fundido están en contacto entre sí, y se proporciona el régimen de presión diferencial, de manera que un cuerpo de material semiconductor, se solidifica sobre la superficie de fusión (1256), cuyo cuerpo formado comprende:
 - 15 i. una primera región de cuerpo más delgada, que tiene un primer grosor promedio de cuerpo más delgado,
 - 20 habiéndose formado la primera región de cuerpo más delgada adyacente a la primera región de la plantilla (1220); y
 - ii. una segunda región del cuerpo, más gruesa, que tiene un segundo grosor promedio del cuerpo más grueso,
 - 25 habiendo formado la segunda región del cuerpo adyacente a la segunda región de la plantilla (1230), siendo el segundo grosor promedio del cuerpo mayor que el primer grosor del cuerpo.
 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que, adicionalmente, está presente al menos uno de los siguientes:
 - 30 la primera región de la plantilla (1220) que comprende una región interior (1920), por lo que la primera región del cuerpo más delgada es una región interior y la segunda región de la plantilla (1230) que comprende una región perimetral (1930), y la segunda región del cuerpo, más gruesa, que comprende una región perimetral.
 3. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la segunda región de la plantilla (1230) comprende una región perimetral, y la segunda región del cuerpo más gruesa comprende un perímetro, la segunda región de la plantilla más gruesa (1230) comprende además al menos uno seleccionado del grupo que consiste en:
 - 35 a. una región de franjas (1960) que se extiende a través de la región interior, por lo que la segunda región del cuerpo, más gruesa, comprende una franja que se extiende a través del interior del cuerpo;
 - 40 b. una región de puntal (1940), en la que la segunda región del cuerpo, más gruesa, comprende un puntal; y
 - c. una región en forma de isla (1942), en la que la segunda región del cuerpo, más gruesa, comprende una isla.
 4. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo el cuerpo poroso de la plantilla un material de plantilla que tiene un primer espesor promedio menor en la primera región de la plantilla (1220) y un material de plantilla que tiene un segundo espesor promedio mayor en la segunda región de la plantilla (1230), por lo que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región de la plantilla (1230) en comparación con la primera región de la plantilla (1220) se debe, al menos en parte, al mayor espesor promedio del material de la plantilla de la segunda región de la plantilla (1230) en comparación con el espesor promedio del material de la plantilla de la primera región de la plantilla (1220).
 - 45
 - 50
 5. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, teniendo el cuerpo poroso de la plantilla un material funcional que tiene una primera conductividad térmica en la primera región de la plantilla (1220) y un material funcional que tiene una segunda conductividad térmica mayor en la segunda región de la plantilla (1230), por lo que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región de la plantilla (1230) en comparación con la primera región de la plantilla (1220) se debe, al menos en parte, a la mayor conductividad térmica del material funcional de la segunda región de la plantilla (1230) en comparación con la menor
 - 55

conductividad térmica del material funcional de la primera región de la plantilla (1220), preferentemente, los materiales funcionales que comprenden las mismas composiciones entre sí, teniendo el material funcional de la primera región (1220) un primer espesor y el material funcional de la segunda región (1230) un segundo espesor, que es menor que el primer espesor.

- 5 6. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el cuerpo poroso de la plantilla comprende material de la plantilla que tiene una primera permeabilidad al gas en la primera región de la plantilla (1220) y teniendo el material de la plantilla una segunda permeabilidad al gas mayor en la segunda región de la plantilla (1230), por lo que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región de la plantilla en comparación con la primera región de la plantilla (1220) se debe, al menos en parte, a la mayor permeabilidad del material de la plantilla de la segunda región de la plantilla (1230) en comparación con la permeabilidad del material de la plantilla de la primera región de la plantilla (1220).
- 10
7. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende además la etapa de acoplar la primera región de plantilla (1220) a una primera fuente de presión diferencial, y la etapa de acoplar la segunda región de plantilla (1230) a una segunda fuente de presión diferencial, proporcionando la segunda fuente de presión diferencial una presión diferencial mayor que la primera fuente de presión diferencial, por lo que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región de plantilla (1230) en comparación con la primera región de plantilla (1220) se debe, al menos en parte, a la mayor presión diferencial proporcionada en la segunda región de plantilla (1230) en comparación con la presión diferencial proporcionada en la primera región de plantilla (1220).
- 15
8. Una plantilla adecuada para el procedimiento de fabricación de una oblea semiconductor (100) según la reivindicación 1, que comprende un cuerpo poroso que comprende:
- 20
- a. una superficie de fusión (1256);
 - b. una superficie trasera;
 - c. una primera región (1220) con una primera propensión a la extracción de calor; y
 - 25 d. una segunda región (1230) que tiene una segunda propensión de extracción de calor, que es mayor que la primera propensión de extracción de calor.

en la que, estando presente al menos una de las siguientes estructuras, por las que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región (1230) en comparación con la menor propensión a la extracción de calor de la primera región (1220) se debe, al menos en parte, a dicha estructura como sigue

- 30
- a. el cuerpo poroso comprende un material que tiene un primer espesor promedio menor en la primera región (1220) y un material que tiene un segundo espesor promedio mayor en la segunda región (1230), por lo que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región (1230) en comparación con la menor propensión a la extracción de calor de la primera región (1220) se debe, al menos en parte, al mayor espesor del material de la segunda región (1230) en comparación con el menor espesor del material de la primera región (1220);
 - 35 b. el cuerpo poroso comprende en su superficie de fusión (1256), material funcional que tiene un primer espesor mayor en la primera región (1220) y material funcional que tiene un segundo espesor menor en la segunda región (1230), por lo que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región (1230) en comparación con la menor propensión a la extracción de calor de la primera región (1220) se debe, al menos en parte, al menor espesor del material funcional de la segunda región (1230) en comparación con el mayor espesor del material funcional de la primera región (1220); y
 - 40 c. el cuerpo poroso comprende en su superficie de fusión (1256), material funcional que tiene una primera conductividad térmica menor en la primera región (1220) y material funcional que tiene una segunda conductividad térmica mayor en la segunda región (1230), por lo que la mayor propensión a la extracción de calor de la segunda región (1230) en comparación con la menor propensión a la extracción de calor de la primera región (1220) se debe, al menos en parte, a la mayor conductividad térmica del material funcional de la segunda región (1230) en comparación con la menor conductividad térmica del material funcional de la primera región (1220).
 - 45

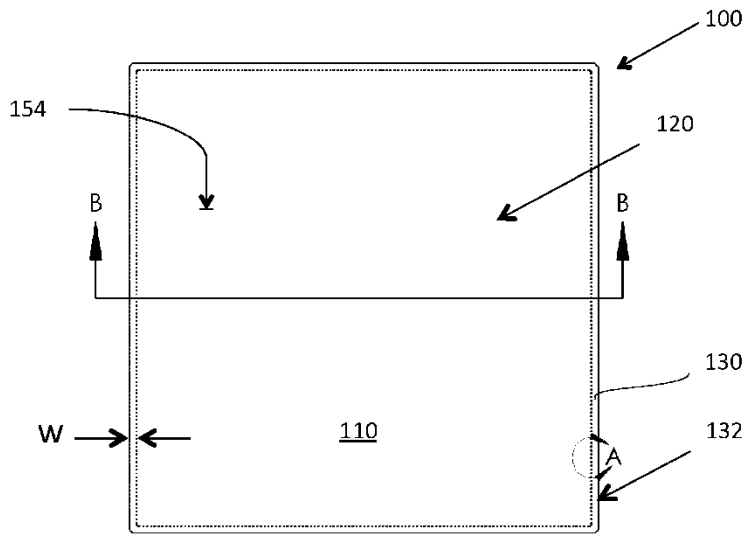


Fig. 1

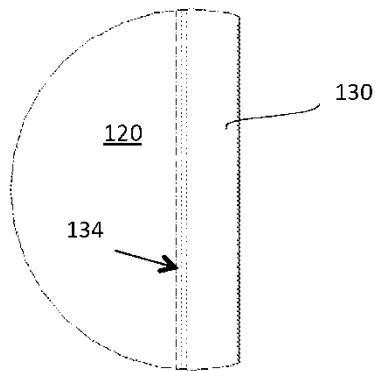


Fig. 1A

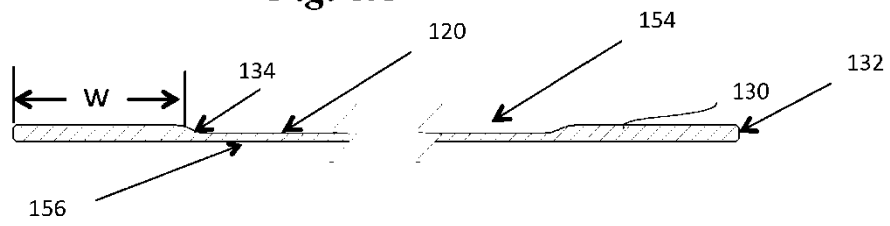


Fig. 1B

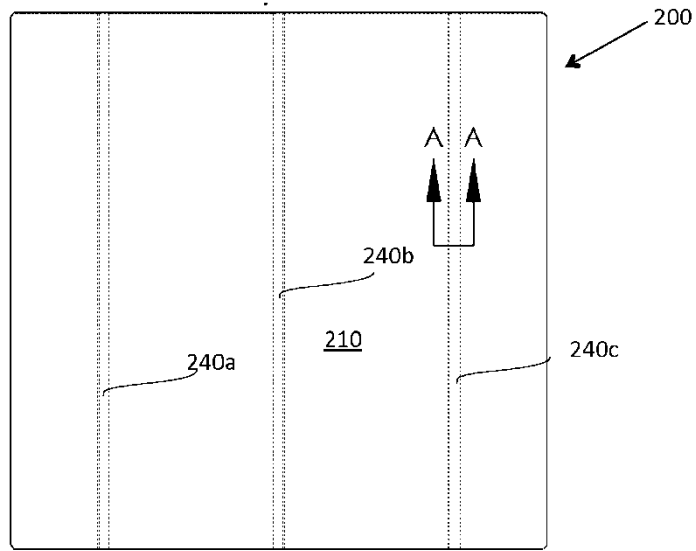


Fig. 2

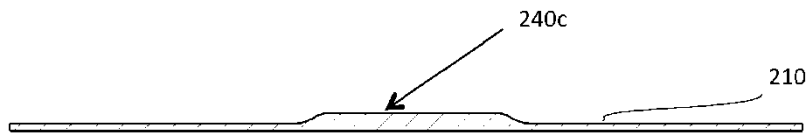


Fig. 2A

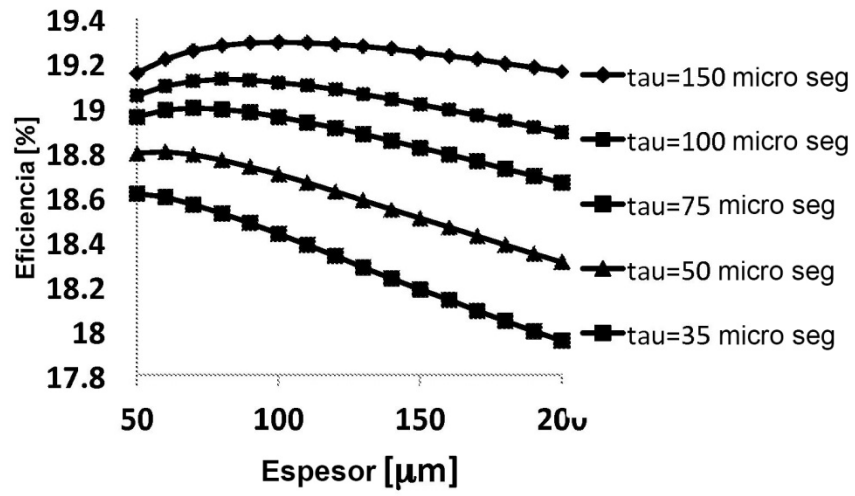


Fig. 3

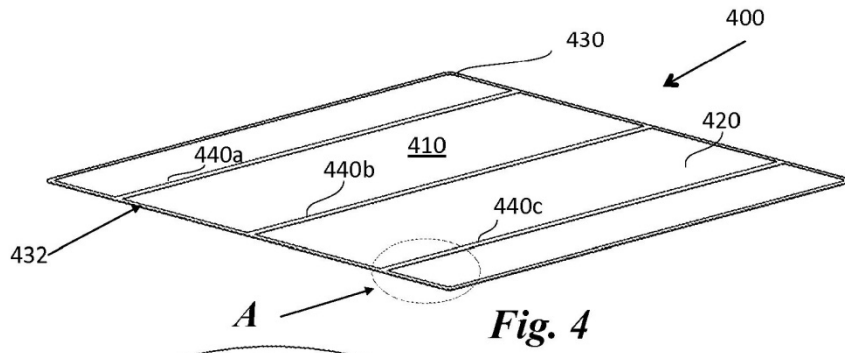


Fig. 4

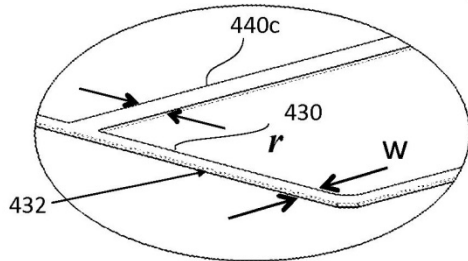


Fig. 4A

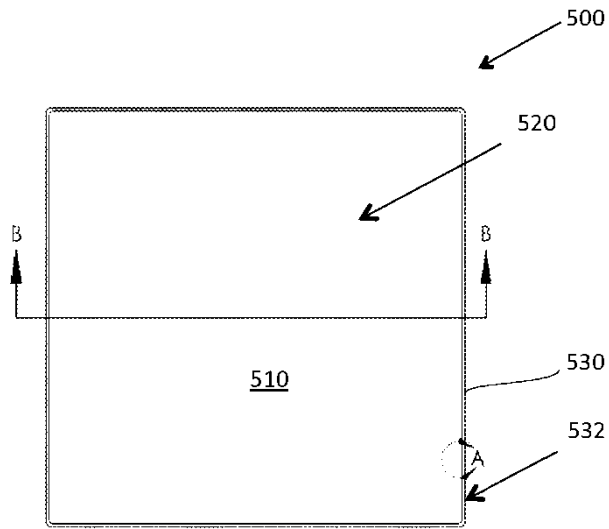


Fig. 5

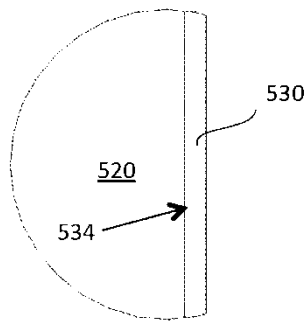


Fig. 5A

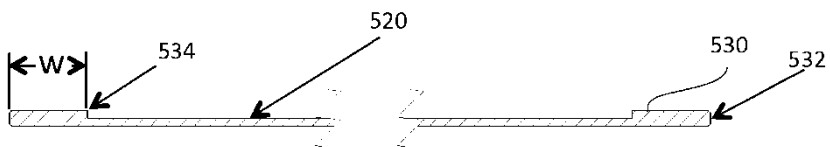


Fig. 5B

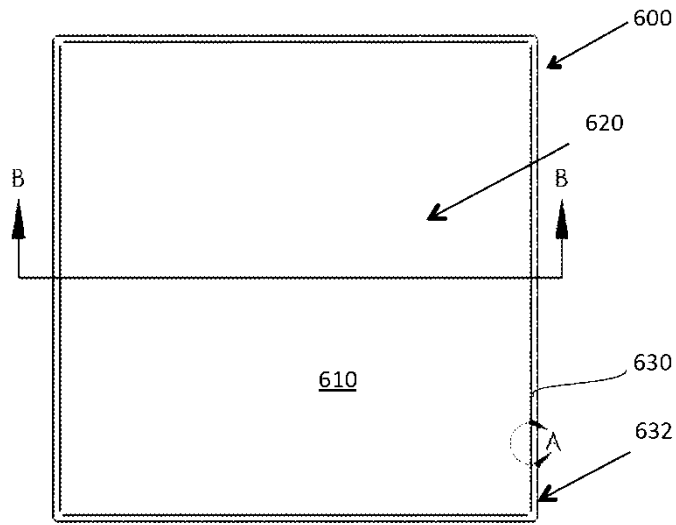


Fig. 6

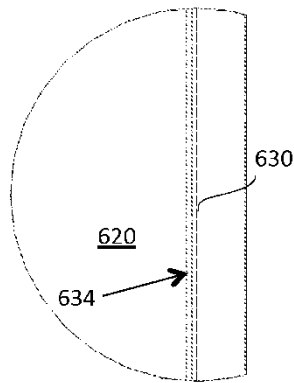


Fig. 6A

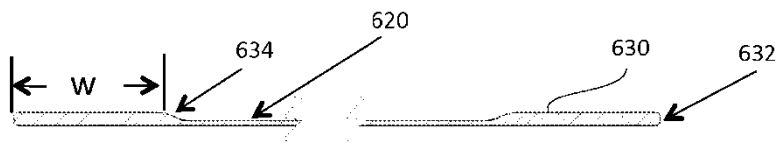


Fig. 6B

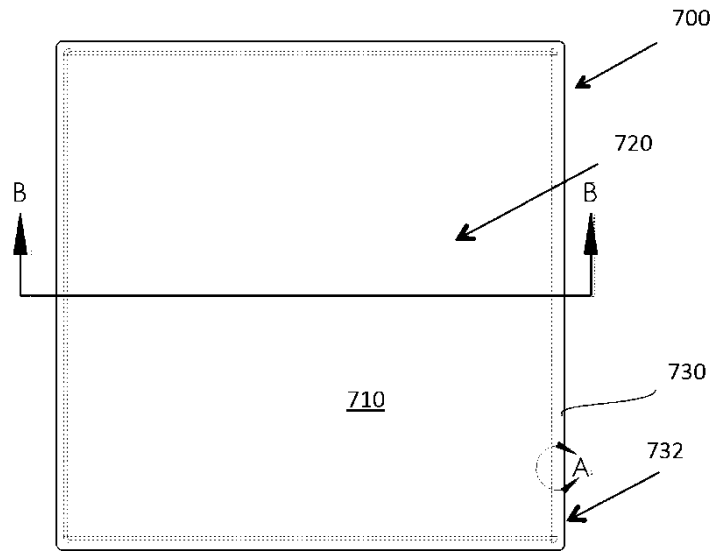


Fig. 7

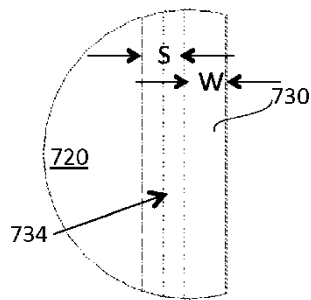


Fig. 7A

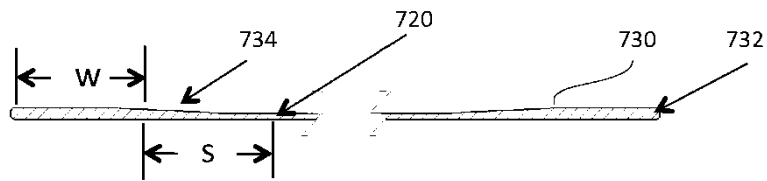


Fig. 7B

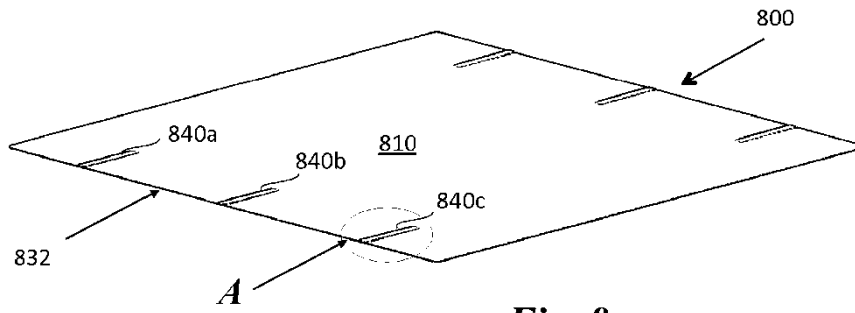


Fig. 8

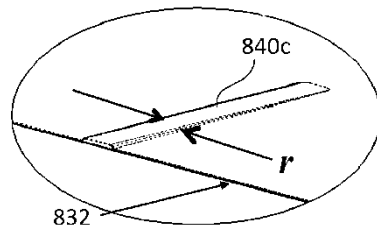


Fig. 8A

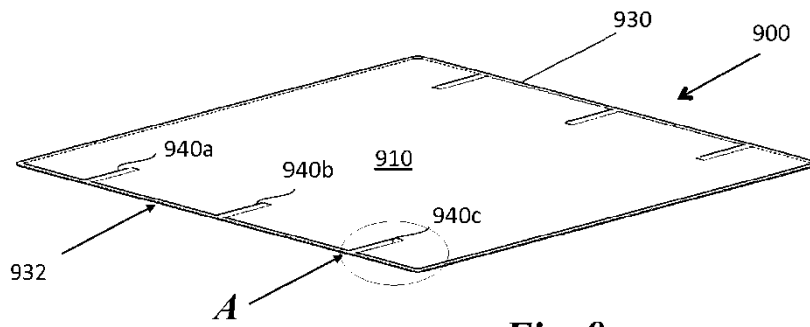


Fig. 9

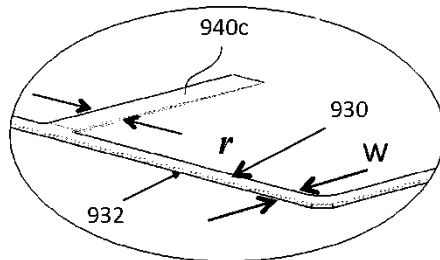


Fig. 9A

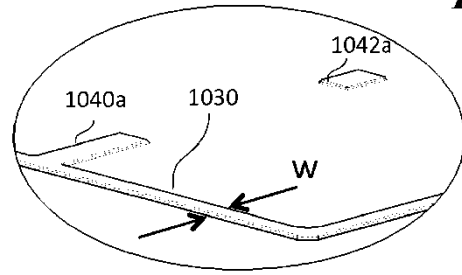
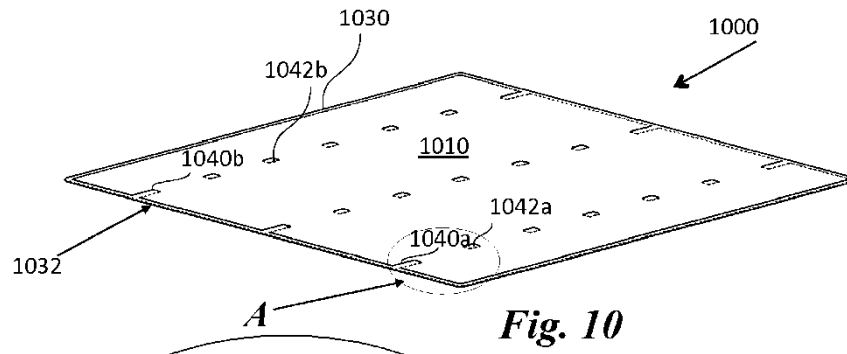


Fig. 10A

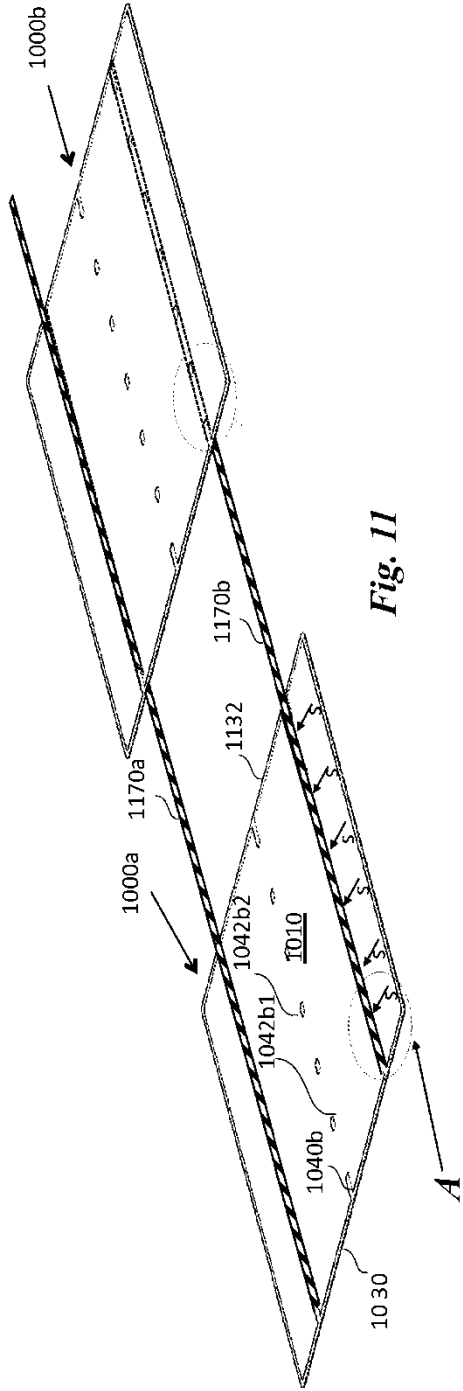


Fig. 11

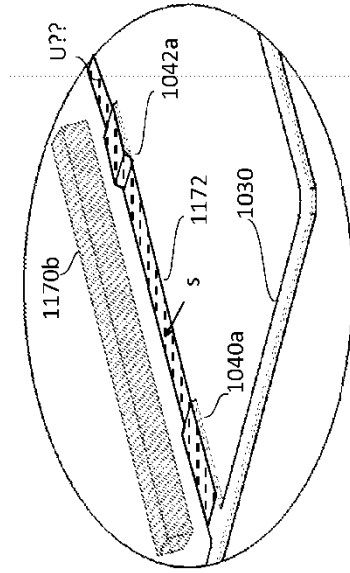


Fig. 11A

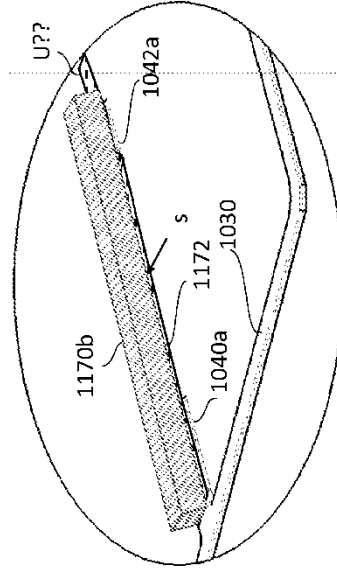


Fig. 11B

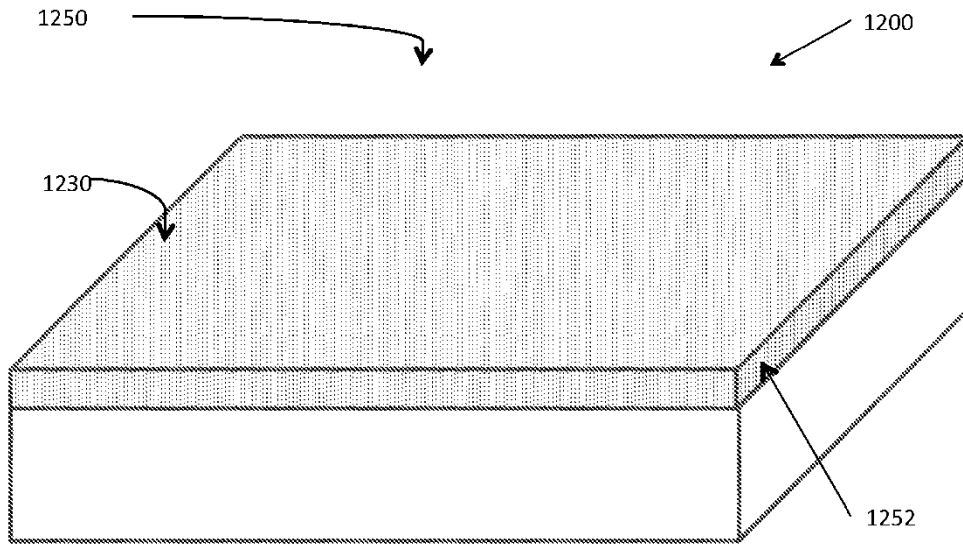


Fig. 12A

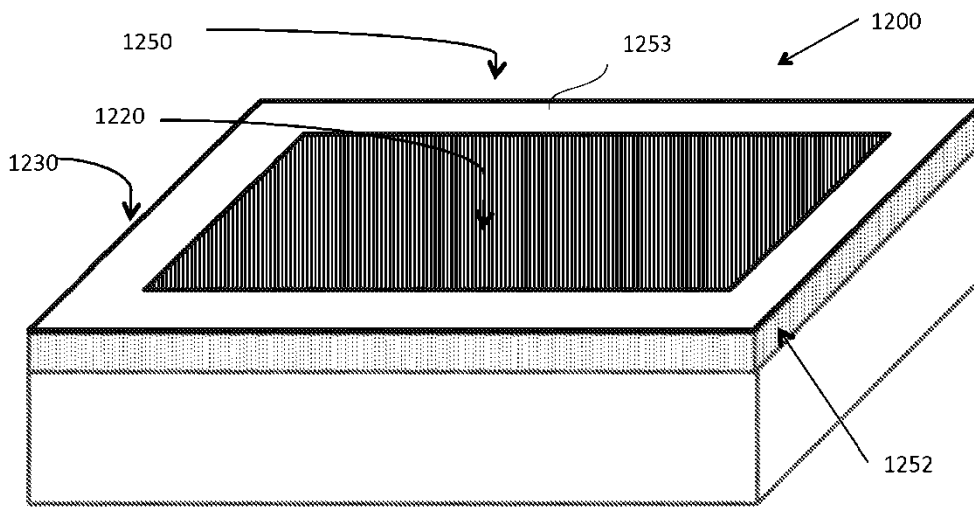


Fig. 12B

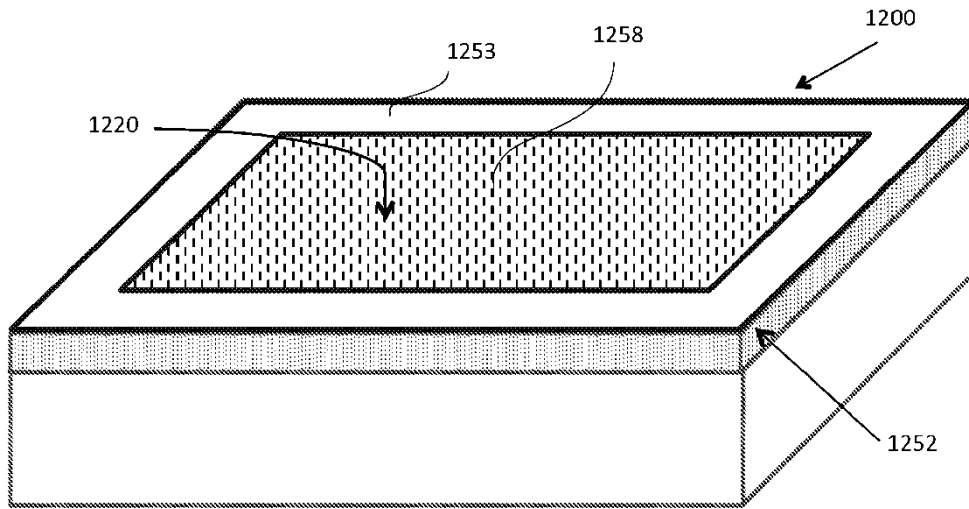


Fig. 12C

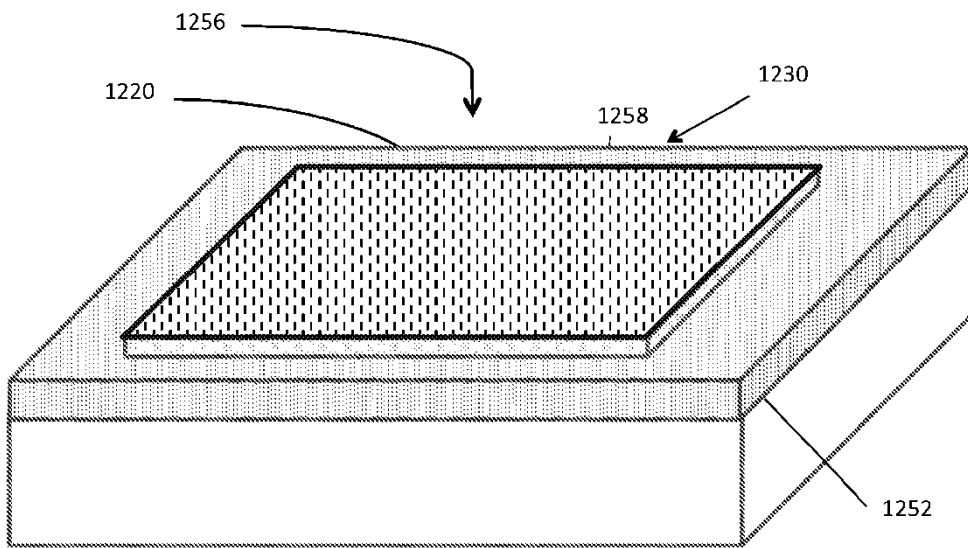


Fig. 12D

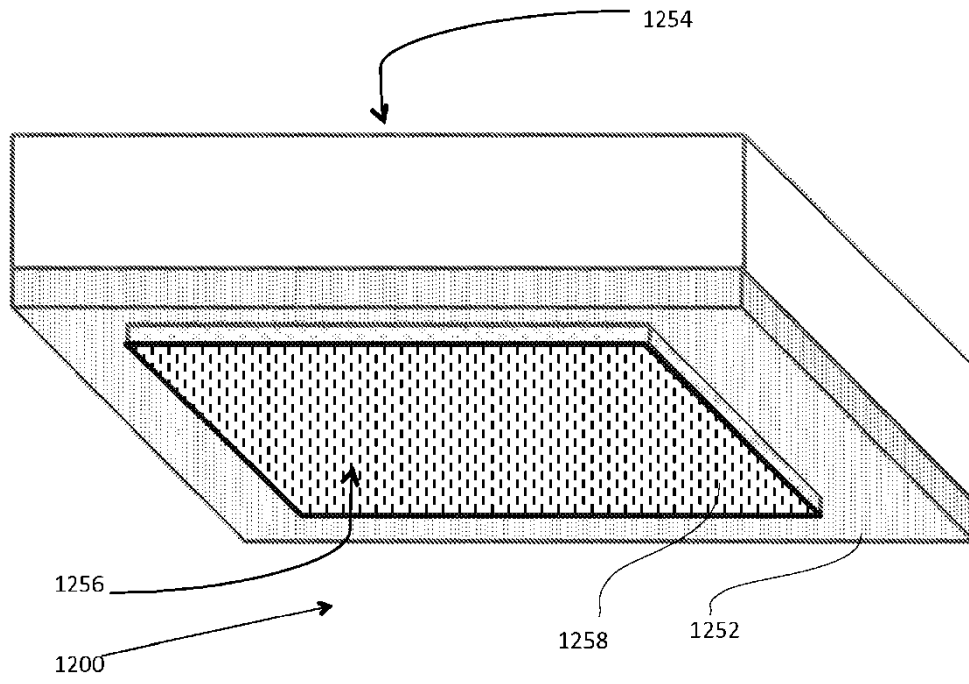


Fig. 12E

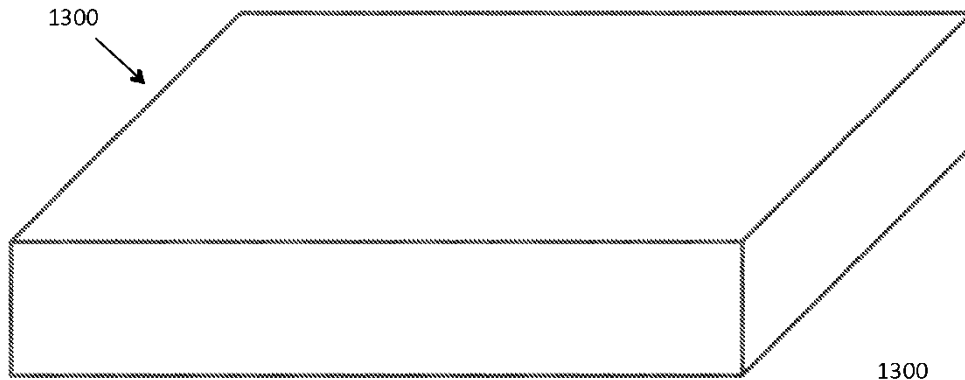


Fig. 13A

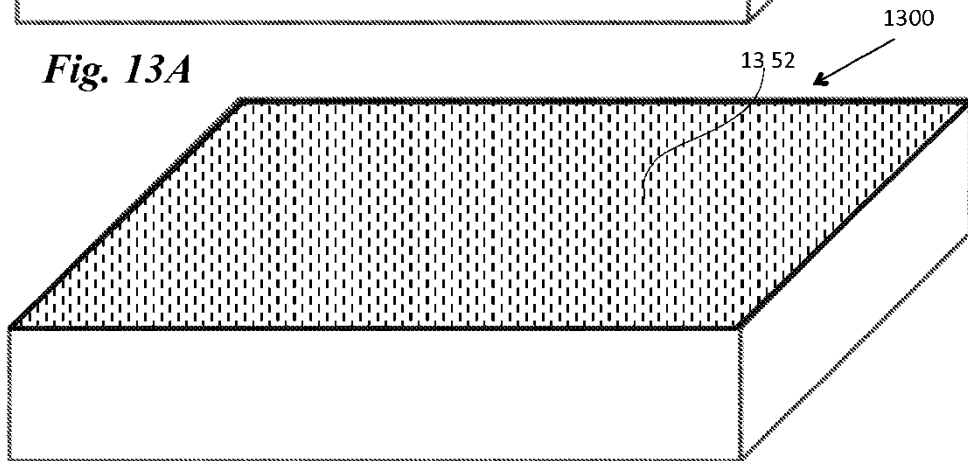


Fig. 13B

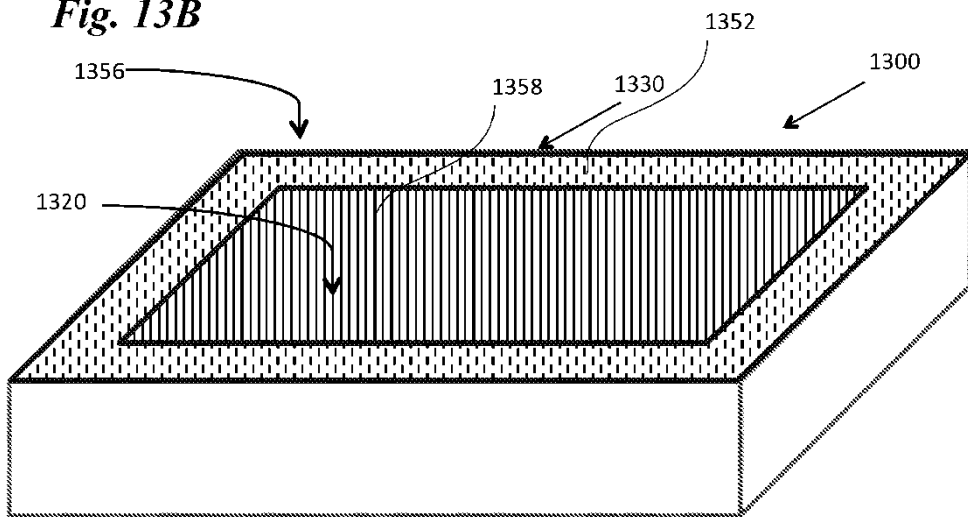


Fig. 13C

1354

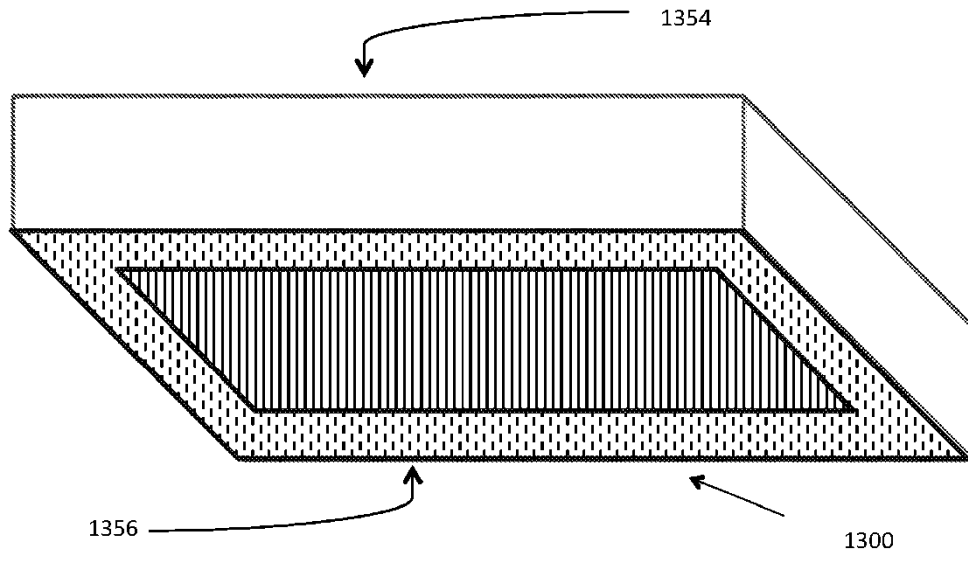


Fig. 13D

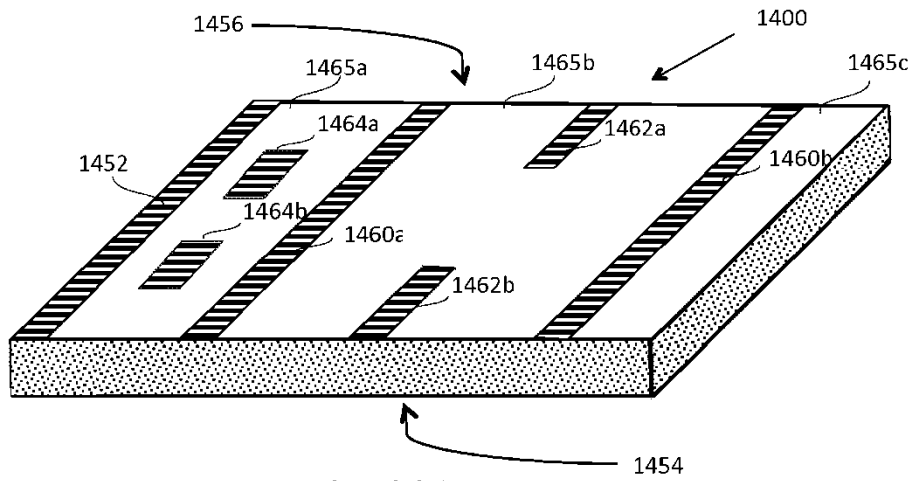


Fig. 14A

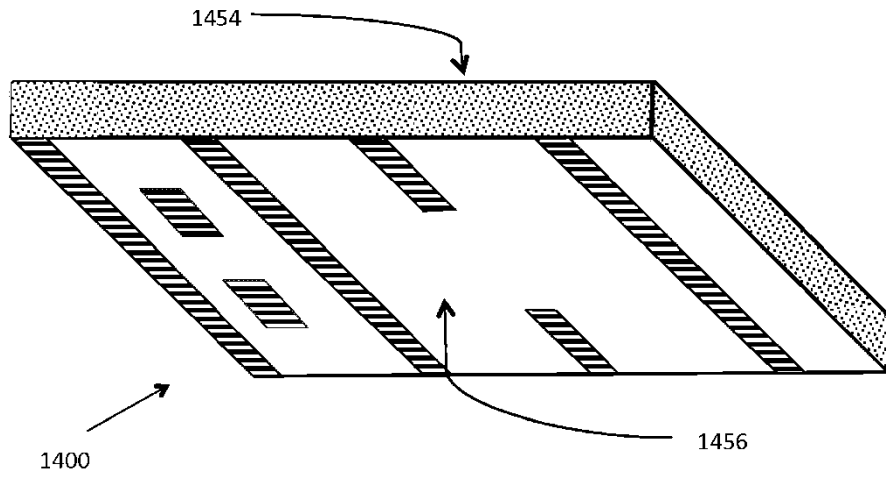


Fig. 14B

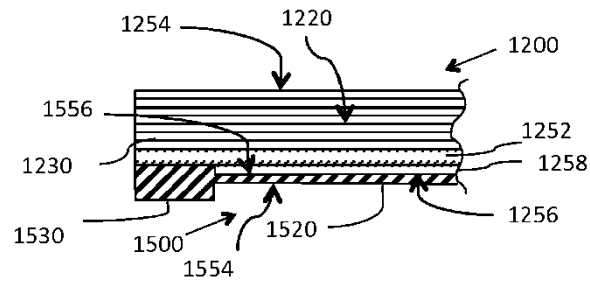


Fig. 15

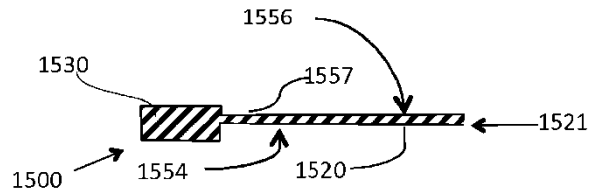
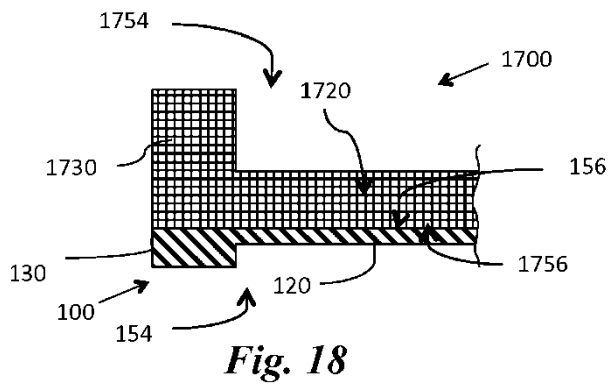
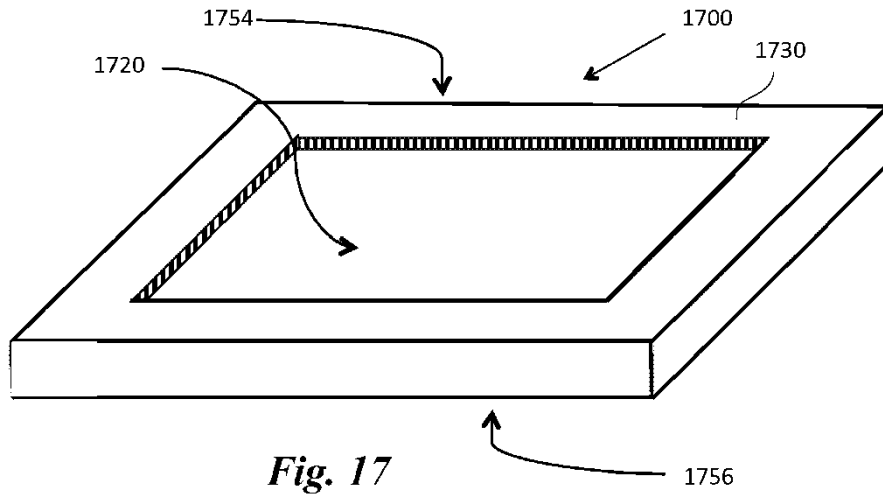


Fig. 16



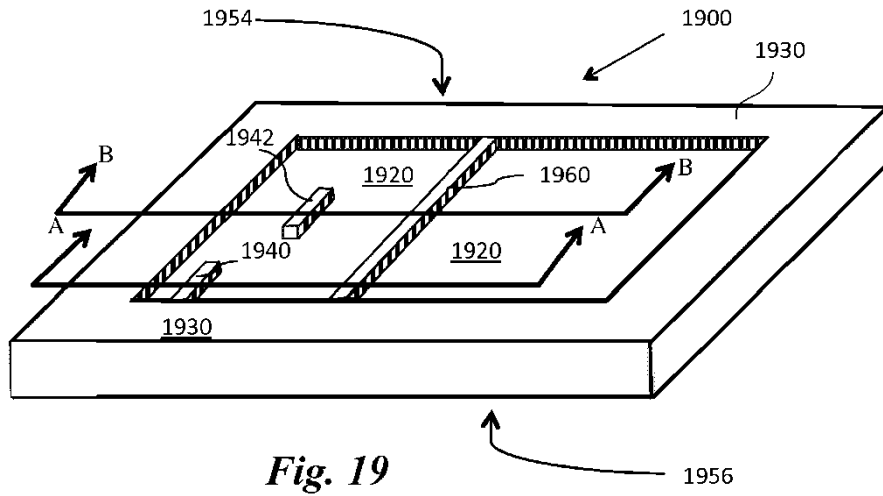


Fig. 19

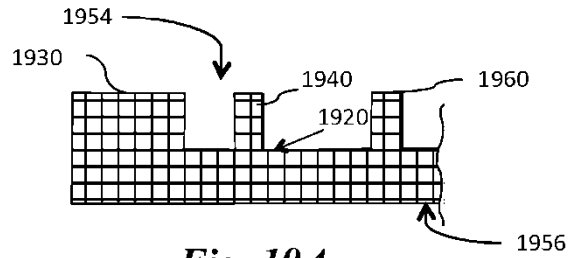


Fig. 19A

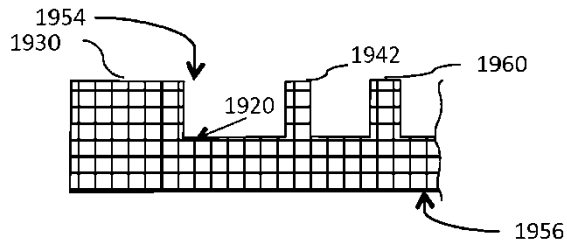


Fig. 19B

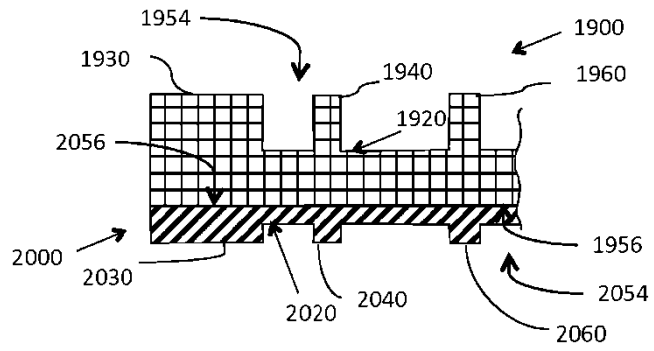


Fig. 20A

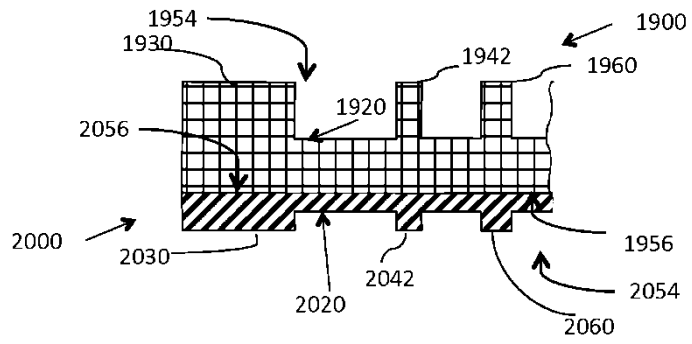


Fig. 20B

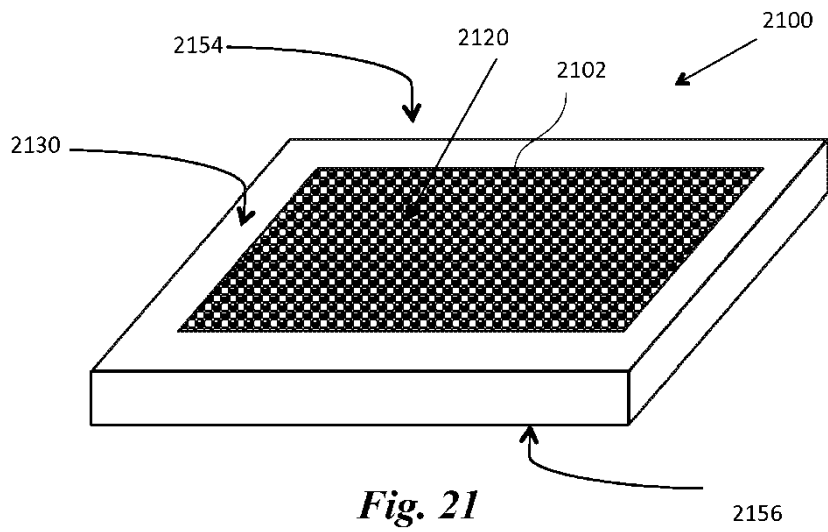


Fig. 21