



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 297 257**

(51) Int. Cl.:

**H01L 31/0224** (2006.01)

(12)

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **03790589 .0**

(86) Fecha de presentación : **21.08.2003**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1547158**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **29.06.2005**

(54) Título: **Electrodo para células fotovoltaicas, célula fotovoltaica y módulo fotovoltaico.**

(30) Prioridad: **29.08.2002 DE 102 39 845**

(73) Titular/es: **Day4 Energy Inc.  
Suite 101 5898 Trapp Avenue  
Burnaby, British Columbia V3N 5G4, CA**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.05.2008**

(72) Inventor/es: **Rubin, Leonid, B. y  
Rubin, George, L.**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.05.2008**

(74) Agente: **Carpintero López, Francisco**

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

Electrodo para células fotovoltaicas, célula fotovoltaica y módulo fotovoltaico.

5 La invención se refiere a un electrodo para contener superficies eléctricamente conductoras, en particular para contener uno de una pluralidad de elementos fotovoltaicos (PV) que son parte de una célula fotovoltaica o de una célula solar. La invención además se refiere a células fotovoltaicas producidas con este electrodo.

10 La generación de energía eléctrica usando la tecnología fotovoltaica ha alcanzado un alto estándar. Sin embargo, la producción de células PV y módulos PV aún es más bien complicada y cara. También la eficiencia de la generación de energía usando módulos PV con una eficiencia máxima de aproximadamente un 17% es más bien baja. Desde un punto de vista económico, la generación de energía eléctrica usando tecnología fotovoltaica solamente es aceptable bajo condiciones actuales si es soportada y/o si es subvencionada por algunos medios, por ejemplo, por el denominado programa de los 100000 tejados en Alemania o programas similares en California, Estados Unidos. De esta manera, 15 en el campo de la tecnología fotovoltaica aún permanece un requisito crítico para disminuir los costes de producción y para mejorar la eficiencia de la generación de energía usando elementos PV y módulos PV.

20 Las células PV comúnmente usadas comprenden un elemento semiconductor con una unión del tipo (n+n (o p)p+) sobre la base de silicio monocristalino o multicristalino, silicio amorfo y otros semiconductores de película delgada con una unión p-n incorporada. Una superficie del elemento está generalmente cubierta con una capa metálica, tal como aluminio o acero inoxidable, mientras que la otra superficie está provista de una cubierta antirreflexivo. Ambas superficies están en contacto con electrodos que recogen y que llevan la energía eléctrica generada. Esta estructura está incorporada entre capas protectoras transparentes, tales como vidrio.

25 Los electrodos son todos ellos producidos usando tecnología de serigrafía. Sin embargo, los electrodos producidos de esta manera tienen una alta resistencia en serie. Aparte de esto, se necesitan dispositivos y equipos caros para la producción y la reducción de costes está limitada cuando se emplea esta tecnología.

30 El documento US 4 380 112 A (Little) describe un elemento fotovoltaico que comprende un electrodo para contener una superficie del mencionado elemento PV, comprendiendo el mencionado elemento un portador ópticamente transparente eléctricamente aislador. Los hilos del electrodo están incorporados en el portador ópticamente transparente y eléctricamente aislador de forma que los hilos del electrodo estén expuesto en un lado, el lado "interior" del mismo. El acabado del elemento PV se efectúa mediante la unión electrostática de la superficie interior de la película transparente, junto con los componentes de malla, a la superficie expuesta del elemento semiconductor frontal.

35 La película ópticamente transparente y eléctricamente aislante está hecha de vidrio de forma que la incorporación de la malla de hilos dentro de la película implica la presión y el calentamiento de la estructura a una temperatura de aproximadamente 700°C (punto de fusión del vidrio). Se forma un contacto permanente entre los hilos metálicos y la superficie semiconductor mediante un escalón de unión electrostática, es decir, se aplica una fuerte tensión a través de la estructura en forma de emparedado de vidrio + hilo metálico + semiconductor que de nuevo se calienta hasta los 700°C.

40 El calentamiento de las estructuras durante la fabricación del electrodo y del elemento PV es complicado e incómodo de manipular de forma que el coste de la producción es relativamente alto. Además, los pasos de calentamiento repetitivos corren el riesgo de fallos y la generación de residuos.

45 El documento EP 0 807 980 A (Canon KK) y el documento US 5 759 291 A (Ichinose y colaboradores) describe un elemento semiconductor (oblea) con hilos de contacto metálicos paralelos o hilos que recogen la corriente (electrodos) que están fijados a la superficie del elemento por medio de un adhesivo conductor en el que se dispersan las partículas conductoras. Los hilos de electrodo están dispuestos en paralelo entre los conductores de conexión que corren a lo largo de los bordes del elemento. Para este tipo de electrodo, la resistencia de contacto óhmica entre la superficie semiconductor y los hilos es relativamente alta, lo que da como resultado una alta pérdida de energía y una baja eficiencia, especialmente bajo radiación solar concentrada. También, la producción de dichas células PV es más bien complicada.

50 Del documento US 5 084 107 A (Deguchi y colaboradores) se conocen una célula solar similar y una matriz de células solares, en las que los hilos de electrodos metálicos están adheridos a la superficie del elemento fotovoltaico por medio de un material adhesivo. En el adhesivo, las partículas conductoras están dispersadas. También, con esta estructura de electrodos, los costes de producción y la resistencia de contacto entre los hilos y la superficie del elemento son bastante altos.

55 Del documento US 5 158 618 A (Rubin y colaboradores) se conoce una estructura de electrodos, en la que los hilos de contacto están incorporados en un bloque de polímero transparente de manera que, parcialmente sobresalen del bloque de polímero. Dichos electrodos hacen contacto con el elemento de uno de los dos lados y están emparedados entre capas protectoras transparentes, tales como vidrio. Como los hilos del electrodo están, por ejemplo, configurados en forma de bobinados, solamente existen contactos puntuales entre los hilos y la superficie del elemento PV. De esta manera, también en este caso, la resistencia en serie de una célula PV es relativamente alta. También los costes de

# ES 2 297 257 T3

producción son relativamente altos, ya que la producción automatizada de dichos tipos de células solares y de módulos PV no es posible.

El documento US 5 457 057 A describe un electrodo de recogida de corriente que comprende hilos metálicos, al menos parte de los mencionados hilos metálicos están recubiertos por medio de una pasta conductora.

En vista de la técnica anterior tratada con anterioridad es un objeto de la presente invención proporcionar un electrodo, en particular para elementos PV, que se pueda producir de manera efectiva como un producto independiente y anejo a la superficie con la que se va a hacer contacto de una manera efectiva y delicada.

10 También es un objetivo de la invención proporcionar un electrodo que con bajos costes de producción consiga una baja resistencia de contacto entre los electrodos y una superficie conductora, en particular la superficie o las superficies de un elemento fotovoltaico.

15 Un objetivo adicional de la invención es proporcionar una célula PV que permita, mediante el uso de un electrodo tal, rebajar la resistencia en serie combinada y los costes de producción de células PV y de módulos PV y la mejora de su eficiencia.

20 De acuerdo con la invención, estos objetos se solucionan en que se proporciona una capa adhesiva sobre una superficie de la película ópticamente transparente y eléctricamente aislante, estando los hilos eléctricamente conductores integrados dentro de la mencionada capa adhesiva, una parte de las superficies de los mencionados hilos sobresaliendo de la capa adhesiva, y en la que al menos sobre la superficie que sobresale de la capa adhesiva los mencionados hilos están cubiertos por una cubierta que consiste en una aleación con un bajo punto de fusión.

25 Durante la fabricación del electrodo de la invención, la capa adhesiva se debe calentar solamente a una temperatura muy baja (punto de fusión de la capa adhesiva de aproximadamente 100°C). Se forma un contacto permanente entre el hilo metálico y la superficie semiconductora después de aplicar presión sobre la película de polímeros con el hilo metálico incorporado de manera preliminar que es presionado y calentado solamente hasta los 130°C. Por lo tanto se obtiene un íntimo contacto mecánico y eléctrico entre la superficie con la que se va a hacer contacto y el hilo.

30 De manera preferible, una segunda pluralidad de hilos que corren sustancialmente paralelos unos con otros está dispuesta entre la película transparente y los hilos de la mencionada primera pluralidad, los hilos de las mencionadas primera y segunda pluralidades formando juntos una malla, y los hilos de la segunda pluralidad estando conectados eléctricamente a una segunda barra de terminales.

35 En una realización adicional preferida, la primera y la segunda barra de terminales están conectadas eléctricamente una con la otra.

40 Las barras de terminales pueden ser proporcionadas en los respectivos extremos de los hilos.

45 En esa realización las barras de terminales son de manera preferible proporcionadas en los extremos opuestos de los hilos de la primera o de la primera y de la segunda pluralidades de hilos fuera del contorno del elemento fotovoltaico, a la superficie de la que se van a conectar los hilos.

50 La primera y la segunda barra de terminales se conectan de manera preferible para formar un ángulo.

55 En una realización preferida adicional, las barras de terminales están formadas como una estructura en forma de U, los hilos de una de las dos pluralidades de hilos estando conectados a la base y los hilos de la otra pluralidad de hilos estando conectados a las patas libres de la U.

60 En la realización cuando la barra o las barras de terminales se proporcionen en los extremos opuestos de los hilos de la primera o de la primera y de la segunda pluralidades, las barras de terminales se extienden de manera preferible sobre la longitud de dos elementos fotovoltaicos adyacentes que se vayan a conectar y que se proporciona un escalón en su centro, de forma que una pluralidad de barras de terminales puedan acoplarse juntas formando una fila, en la que la mitad de una barra de terminales está dispuesta por debajo o por encima de las mitades inferior o superior, respectivamente, de la barra de terminales vecina, en la que entre las barras de terminales se proporciona una película aislante.

65 Además, las barras de terminales se pueden formar como una estructura cerrada, el área abierta (ventana) de la mencionada estructura sobrepasando las dimensiones del elemento fotovoltaico correspondiente.

70 Es una realización preferida adicional tener la barra o barras de terminales formadas como una doble estructura con dos ventanas adyacentes, el área abierta de las cuales sobrepasa las dimensiones de los correspondientes elementos fotovoltaicos.

75 La estructura puede comprender dos estructuras metálicas con una película aislante proporcionada entre ellas.

## ES 2 297 257 T3

En una realización preferida adicional, se proporciona un escalón en la barra central de la doble estructura, de forma que se puedan acoplar juntas una pluralidad de estructuras formando una fila, en la que la mitad de una doble estructura está dispuesta por debajo o por encima de las mitades inferior o superior, respectivamente, de la doble estructura vecina.

5 Se puede proporcionar una ranura en la barra central de la doble estructura, y la mencionada ranura que corre en paralelo al mencionado escalón, de forma que al finalizar un módulo PV los hilos transversales del electrodo se puedan cortar.

10 Finalmente, las barras metálicas se pueden disponer abarcando al menos una ventana de la estructura o estructuras, estando las mencionadas barras conectadas de manera integral con la correspondiente estructura metálica.

La invención consigue de manera adicional los anteriores objetivos proporcionando una pluralidad de electrodos de acuerdo con cualquiera de las realizaciones anteriormente descritas en las que los electrodos están formados como 15 una tira sin fin continua, que se puede cortar a una longitud correspondiente a la longitud de una matriz de elementos fotovoltaicos adyacentes que se vaya a conectar para formar un módulo PV, en el que los hilos corren en la dirección de la tira se cortan a distancias que corresponden a las distancias de las células PV.

De manera preferible, se puede proporcionar una barra de terminales sin fin a lo largo de al menos uno de los 20 bordes de la película transparente en la que, de nuevo de manera preferible, a lo largo de cada borde de la película transparente hay dispuestas barras terminales en forma de peine, cuyos dientes alcanzan respectivamente desde un lado entre dos elementos fotovoltaicos adyacentes sobre la anchura de los hilos de la primera pluralidad y estando de manera alternativa en contacto con los lados inferior y superior de los correspondientes elementos fotovoltaicos y estando aislados de la otra superficie.

25 La invención consigue de manera adicional los objetivos antes mencionados proporcionando una célula PV o un módulo PV que comprendan al menos un electrodo o una tira de electrodos de acuerdo con cualquiera de las realizaciones anteriores, comprendiendo una o más células fotovoltaicas con una cubierta ópticamente transparente, antirreflexiva y eléctricamente conductora sobre al menos una de sus superficies, los hilos de la primera pluralidad estando soldados sobre la cubierta y sobre las correspondientes barras de terminales o estructuras de terminales por medio de la aleación.

Cuando los hilos de la primera y de la segunda pluralidad estén dispuestos para formar una malla, los hilos de la primera y de la segunda pluralidades están de manera preferible unidos juntos en sus puntos de cruce y sobre las 35 respectivas barras de terminales o estructuras de terminales por medio de la aleación.

El electrodo de acuerdo con la invención proporciona un contacto óhmico íntimo y fiable con la superficie con la que se va a hacer contacto y proporciona la consecución de 8 a 10 veces una resistencia serie combinada inferior de una célula PV o de un módulo PV que no solamente mejora la eficiencia de los elementos PV, sino que les permite 40 funcionar bajo una irradiación solar de 8 a 10 veces concentrada. Esto se refiere en particular a aquellas realizaciones, en las que los hilos de la primera y de la segunda pluralidades están dispuestos unos con respecto a los otros en forma de una malla y están conectados a conductores de conexión formados de manera angular o de manera rectangular. De manera simultánea, durante la producción, el grado de automatismo y la capacidad de producción se puede ver sustancialmente incrementada.

45 A continuación, se explica la invención con más detalle por medio de las realizaciones ilustradas en los dibujos.

La figura 1 es una vista parcial isométrica esquemática de una célula PV antes, y

50 La figura 2 después del paso de calentamiento y/o el paso de presión durante la producción de la célula PV.

La figura 3 es una vista isométrica esquemática de una malla de hilos de contacto.

55 La figura 4 es una vista isométrica esquemática de un dispositivo para la producción de electrodos ópticamente transparentes adhesivos de tipo película.

La figura 5A es una vista de un electrodo producido con el dispositivo de la figura 4.

La figura 5B muestra la sección transversal A - A de la figura 5A.

60 La figura 5C es una vista de una tira de electrodo con hilos que corren transversalmente a la dirección de los hilos de la figura 5A.

La figura 5D muestra la sección transversal A - A de la figura 5C.

65 La figura 6A muestra la vista de una tira de electrodo con una malla de hilos.

La figura 6B muestra la sección transversal B - B de la figura 6A.

# ES 2 297 257 T3

La figura 6C muestra la sección transversal A - A de la figura 6A.

La figura 7 muestra en una vista isométrica esquemática despiezada los elementos esenciales de una célula PV antes del calentamiento y de la presión.

5 La figura 8 es una vista isométrica esquemática despiezada de una segunda realización de los elementos de una célula PV antes del calentamiento y de la presión.

10 La figura 9A es una vista de una tercera realización de una célula PV.

La figura 9B muestra la sección transversal A - A del elemento fotovoltaico de la figura 9A.

15 La figura 10A es la vista de varias células PV estando dispuestas en forma de una tira, cuyas células PV están conectadas unas con otras en paralelo.

La figura 10B muestra la sección A - A de la figura 10A.

La figura 10C muestra la sección B - B de la figura 10A.

20 La figura 11A es la vista de varias células PV en forma de una tira y con electrodos formando una malla, con las células conectadas unas a otras en paralelo.

La figura 11B muestra la sección A - A de la figura 11A.

25 La figura 12A muestra una realización adicional de una matriz de células PV estando dispuestas en forma de una tira en la que las células PV están conectadas en serie.

La figura 12B muestra la sección A - A de la figura 12A.

30 La figura 13 es la vista de una realización adicional de una tira de electrodo con los hilos de electrodo dispuestos en forma de una malla, en la que las células PV también están conectadas unas a otras en serie.

La figura 14A es la vista de un electrodo sin fin con secciones simples de electrodo para formar una célula PV, respectivamente.

35 La figura 14B muestra la sección A - A de la figura 14A.

La figura 15A es la vista de una matriz de células PV estando dispuestas en serie en forma de una tira.

40 La figura 15B muestra la sección A - A de la figura 15A.

La figura 15C muestra la sección B - B de la figura 15A.

45 La figura 16A muestra una realización adicional de varias células PV estando dispuestas en serie en forma de una tira.

La figura 16B muestra la sección A - A de la figura 16A.

50 La figura 16C muestra la sección B - B de la figura 16A.

La figura 17 es una vista esquemática despiezada de los elementos de un módulo PV con células PV conectadas en serie.

55 La figura 18 muestra una realización adicional de un módulo PV similar al de la figura 17, y

La figura 19 muestra una realización adicional de un módulo PV similar al de las figuras 17 y 18.

60 La figura 1 muestra una estructura de semiconductor S, por ejemplo, silicio (n+n (o p) p+), cuya superficie (siempre en relación con la representación en la figura) está cubierta con una cubierta antirreflexiva, transparente, eléctricamente conductora 4 tal como por ejemplo, Indio - Estaño - Óxido (ITO). El elemento S también puede consistir en un elemento PV de película delgada. La superficie inferior del elemento S está cubierta con una cubierta de metal (por ejemplo, aluminio) o de manera alternativa con una cubierta antirreflexiva, transparente, eléctricamente conductora 4. El elemento S y la cubierta superior 4 forman de manera conjunta con la cubierta de metal (no representada) o la segunda cubierta inferior ITO 4, una unidad a la que se hará referencia de aquí en adelante como una oblea 3. Las dos superficies de la oblea 3 están en contacto con los hilos metálicos 1, que están cubiertos con una cubierta 2 que consiste en una aleación que tiene un bajo punto de fusión. Los hilos 1 pueden estar completamente cubiertos con la cubierta de aleación 2 o solamente en parte cubiertos sobre el lado o los lados que hacen frente a la superficie con la

que se va a hacer contacto. A continuación, se hará referencia a los hilos recubiertos como una primera pluralidad de hilos 5'. Están en contacto directo con la superficie o con las superficies de la oblea 3.

La figura 2 muestra la disposición de la figura 1, después de presionar y calentar hasta 120°C El material de la cubierta de aleación 2 ha ablandado y ha humedecido ligeramente la cubierta 4, y está en contacto óhmico con la mencionada cubierta y con los hilos 5'. Lo mismo se refiere al caso en el que el lado inferior del elemento S no está dotado de una cubierta 4 antirreflexiva, transparente y conductora sino de una cubierta metálica. La distancia de los hilos 5' no es necesario que sea uniforme, es decir, los hilos paralelos 5' pueden estar dispuestos en pluralidades de dos o más hilos 5' con diferentes distancias entre los hilos y los hilos de una pluralidad.

La forma y el tamaño de sección transversal de los hilos se eligen para optimizar la recogida de corriente eléctrica por medio de los hilos, la densidad de corriente en los hilos, la resistencia en serie de la célula PV y el tamaño del área de oblea sombreada por los hilos 5'. Como se muestra en las figuras 1 y 2, se pueden elegir diferentes formas de sección transversal para los hilos 5', por ejemplo, circular, rectangular, triangular, etc. Por supuesto, para los hilos 5' de una célula PV particular, o de un módulo PV particular, respectivamente solamente se elige una forma de sección transversal.

La figura 3 muestra una malla de hilos 6 de los hilos 5' de la primera pluralidad y de los hilos 5" de una segunda pluralidad, en la que los hilos 5', 5" de la primera y de la segunda pluralidades están generalmente que corren perpendicularmente unos a los otros. Los hilos 5" están, al menos sobre las superficies que hacen frente a los hilos 5', también recubiertos con una cubierta de aleación 2. Sin embargo, si la cantidad de material de aleación en los hilos 5' de la primera pluralidad es suficiente para una conexión mecánica y eléctrica segura de las dos pluralidades de hilos en los puntos de cruce, la cubierta de aleación sobre los hilos 5" de la segunda pluralidad se podría omitir. Como para la elección de las distancias de los hilos 5" y de la forma y el área de la sección transversal, se han de aplicar las mismas consideraciones para la disposición y para el tamaño de los hilos 5'. Por supuesto, para los hilos 5", se puede elegir una forma y un tamaño de sección transversal diferentes a las de los hilos 5'.

La figura 4 muestra la vista esquemática de un dispositivo para la producción de un electrodo ópticamente transparente y adhesivo del tipo de película. Inicialmente, los hilos recubiertos con aleación 5' son arrollados sobre varios carretes 7, cuyo número es igual a la anchura de la célula PV dividida por las distancias necesarias entre los hilos que corren en paralelo 5' de la primera pluralidad. Por ejemplo, a una anchura de la célula PV de 100 mm y a una distancia entre los hilos de 4 mm, se necesitan 26 carretes 7. Los carretes 7 están amarrados sobre un eje 8, de forma que es posible formar líneas paralelas de hilos 5', que corran a través de aberturas correspondientes en una estructura 9. La distancia entre las aberturas de la estructura 9 se determina por medio de la distancia solicitada entre hilos paralelos 5'. El tamaño y la forma de las aberturas en la estructura 9 tienen que corresponder con el tamaño y la forma del área de la sección transversal de los hilos 5'.

Los hilos paralelos 5' están dispuestos sobre una película de polímero 10, que es suministrada desde un tambor 12. La superficie de la película 10 que hace frente a los hilos 5' está recubierta con un adhesivo transparente 11. La anchura total de la película 10, sobre la que se colocan los hilos 5' sobrepasa la anchura de una oblea o de una matriz de varias obleas 3, de forma que sobre cada lado de la película 10 una zona de 1,5 a 2 cm permanece libre de hilos 5' (figura 5A). La película 10 es conducida por el tambor 12 sobre la superficie de un carrete giratorio 13 y es tirada por un tambor 15, tirando de manera simultánea de los hilos 5'. Los hilos 5' son presionados sobre la película 10 por medio de otro carrete 14 dispuesto encima del carrete giratorio 13. De manera simultánea, la película 10 es calentada por los carretes 13 y 14, de forma que el adhesivo 11 se ablande, los hilos 5' se sumerjan en el adhesivo 11, y después del enfriamiento, permanezcan fijos a la película 10 y embebidos en el adhesivo 11. Se recomienda que el lado contrario de la película de polímero se debería aplicar por medio de material adhesivo para permitir el encapsulado de células PV adicionales entre capas protectoras.

Las figuras 5A y 5B muestran en detalle el resultado de este proceso, a saber, un electrodo transparente 16. Los hilos 5' que se extienden a lo largo de la película de polímero 10 están incorporados en el adhesivo 11 y están presionados sobre la película 10. Una parte de la superficie de los hilos 5' sobresale de la superficie del adhesivo 11. En la figura 5B, a la izquierda y a la derecha, también se representan otras formas posibles de sección transversal de los hilos 5'.

Un dispositivo de producción similar al de la figura 4 se puede usar para la producción de una película de polímero 10 con hilos incorporados 5' estando dispuestos transversalmente a la dirección inicial de la película 10 (figuras 5C y 5D). La anchura de la película de polímero 10 tiene que corresponder por lo tanto con la longitud requerida de una célula PV o de un módulo PV. Después de que los hilos 5' de la primera pluralidad estén incorporados en la película 10, se puede cortar en piezas transversales a la extensión inicial de la película 10.

La distancia de los hilos 5' y/o 5" no es necesario que sea uniforme, es decir, los hilos paralelos 5' y/o 5" pueden estar dispuestos en grupos de dos o más hilos con diferentes distancias entre los hilos en cada grupo y el número de tales grupos.

La figura 6 muestra un electrodo 16 que comprende la película de polímero transparente 10 y una malla de hilos 6 de los hilos 5' y 5" de la primera y de la segunda pluralidades. Solamente los hilos 5" estando más cercanamente situados a la película de polímero 10 están inmersos en el adhesivo 11 (véanse también las figuras 6B y 6C). Los hilos superiores 5' que entran en contacto con la superficie o con las superficies de la oblea 3 no están, al menos no

## ES 2 297 257 T3

completamente, inmersos en el adhesivo 11 (durante la producción de este tipo de un electrodo 16, el carrete 7 lleva una malla de hilo 6, y no se usa la estructura 9 (figura 4)). Ya en este punto, los hilos 5', 5" se pueden soldar juntos. Sin embargo, generalmente esto se hace en el momento del montaje del electrodo 16 y de la oblea 3.

- 5 Para la película de polímero 10 se puede usar un amplio abanico de materiales: el material debe tener una alta  
ductibilidad, buenas características aislantes, transparencia óptica y estabilidad térmica, resistencia a los encogimientos  
y tener una buena capacidad de adherencia. Ejemplos de dichos materiales son el CELLOPHANE®, rayon, acetato,  
fluororesina, polisulfona, resina epoxi y resina de poliamida. Un material adecuado para ser usado es también la  
película de polímero transparente Mylar®. Los materiales para su uso de manera preferente son los que se basan en un  
10 fluoropolímero; por ejemplo, la película de polivinil fluoruro Tedlar® y la resina modificada de fluoro polímero ETFE  
Tefzel®. Estos materiales se usan no solamente en la industria fotovoltaica, sino también para propósitos generales y  
para productos electrotécnicos para propósitos de laminación.

- 15 Un amplio abanico de materiales que tienen una temperatura de ablandado que oscila entre 90°C a 110°C y que  
tienen una buena adhesión a las películas de polímero imprimadas de manera preliminar y a la superficie de la oblea 3,  
son adecuados como adhesivos 11. Los materiales preferidos son materiales adhesivos acrílicos, materiales adhesivos  
de goma, materiales adhesivos de silicio y materiales adhesivos de polivinil-éster así como materiales adhesivos epoxi.  
Los materiales más preferidos para ser usados son el acetato de vinilo etíleno, por ejemplo, suministrado por HISHEET  
20 INDUSTRIES, LTD. y los suministrados por Dupont: 68080 polimetil metacrilato, 68040 copolímero metacrilato,  
68070 copolímero metacrilato.

- 25 La capa adhesiva 11 tiene que ser lo suficientemente gruesa con el fin de proporcionar una conexión adecuada  
del electrodo con la oblea 3. El grosor de la capa adhesiva sin embargo, no debería sobrepasar el grosor de los hilos  
5', de forma que la parte de los hilos 5' que sobresale del adhesivo 11, cuya parte está recubierta con la aleación 2  
y no está sumergida en el adhesivo 11 pueda formar con posterioridad un contacto óhmico directo con la superficie  
eléctricamente conductora de la oblea 3 (figuras 5A, 5D, 6B, 6C).

- 30 La película de polímero 10 tiene que ser lo suficientemente gruesa, de forma que sea lo suficientemente estable  
cuando el adhesivo 11 se aplique y cuando se tire de ella bajo la presión y el calor cuando se conecte a los hilos  
5', 5". De manera simultánea, debería ser tan delgada como sea posible con el fin de conseguir una alta elasticidad y  
transparencia para que la luz pase a su través. De manera preferible, el grosor de la película de polímero 11 oscila entre  
10 y 50 µm. Como se ha mencionado con anterioridad, es preferible si el extremo opuesto de la película de polímero  
se aplica con material adhesivo.

- 35 En las figuras 5 y 6, la película de polímero 10 se muestra con el adhesivo 11 y los hilos 5' (o la malla 6 con los  
hilos 5', 5") con la cubierta de aleación 2 sobresaliendo de la superficie del adhesivo 11, formando un electrodo 16  
adhesivo ópticamente transparente de tipo de película continua o sin fin.

- 40 El electrodo 16 de esta invención se puede aplicar para la producción de células PV y de módulos PV. Por lo tanto,  
se requieren diferentes tipos de varillas o barras metálicas y conexiones con el fin de recoger la corriente que proviene  
del electrodo 16 y transmitirla después. Por lo tanto, es aconsejable conectar las varillas o las barras metálicas al  
electrodo 16 mediante unas gotas de pegamento o por medio de un breve calentamiento local, uniendo o fijando de  
esta manera las varillas o las barras metálicas al adhesivo 11 del electrodo 16. La distancia entre las barras metálicas y  
45 los diferentes tipos de conexiones tiene que estar diseñada de una manera tal que exista un espacio suficiente entre las  
obras 3 de forma que no entren en contacto eléctrico directo con los elementos constructivos cuando éstos se dilaten  
por el calor por debajo de hasta 160°C de calentamiento durante el montaje de la oblea 3 y del electrodo 16.

- 50 La figura 7 muestra una representación dibujada de una célula PV antes de su montaje por medio de presión y  
de calentamiento. Los electrodos 16 están dispuestos respectivamente por encima y por debajo de la oblea 3. En una  
dirección transversal a la extensión longitudinal de los hilos 5' de los electrodos 16, están dispuestas en dos lados  
opuestos de la oblea 3 una primera barra de terminales 20 y una segunda barra de terminales 22, que sobre sus lados  
superior e inferior, respectivamente, están provistas de una cubierta 21 que consiste en una aleación eléctricamente  
conductora con un bajo punto de fusión. Los hilos 5' del electrodo superior 16 se extienden desde el borde derecho  
55 de la oblea 3 hasta el borde izquierdo de la segunda barra de terminales 22. A la inversa, los hilos 5' del electrodo  
inferior 16 se extienden desde el borde izquierdo de la oblea 3 al borde derecho de la primera barra de terminales  
20. Después del calentamiento y del prensado, los hilos 5' del electrodo superior 16 están en contacto óhmico con  
la segunda barra de terminales de la izquierda 22 y la superficie superior de la oblea 3, mientras que los hilos 5' del  
electrodo inferior 16 están en contacto óhmico con el lado inferior de la barra de terminales 20 y el lado inferior de la  
oblea 3.

- 60 Las aleaciones eléctricamente conductoras 2, 21 con un bajo punto de fusión se pueden representar por medio de  
soldaduras comunes o por medio de soldaduras especialmente desarrolladas en base a diferentes metales, como Ag,  
Bi, Cd, Ga, In, Pb, Sn, Ti, etc. También es posible usar material conductor compuesto de adhesivos orgánicos con  
partículas metálicas o de aleaciones.

- 65 La figura 8 muestra una estructura similar, sin embargo con barras de terminales formadas de manera angular 20,  
22 y electrodos 16 con hilos 5', 5" dispuestos en forma de una malla 6. Después de presionar y de calentar, la malla 6  
del electrodo inferior 16 está en contacto óhmico con la barra de terminales primera formada de manera angular 20 y

## ES 2 297 257 T3

el lado inferior de la oblea 3, mientras que la malla 6 del electrodo superior 16 está en contacto óhmico con la segunda barra de terminales formada de manera angular 22 y el lado superior de la oblea 3.

Las figuras 9A y 9B muestran una célula PV, en la que las barras de terminales están configuradas en forma de una estructura laminada de tres capas 17, en cuya ventana se acomoda la correspondiente oblea 3. Los hilos 5' corren entre dos lados opuestos de la estructura 17, sobre cuyos lados están soldados como resultado de calentamiento y de prensado.

Como se muestra con más detalle en la figura 9B, la estructura 17 comprende dos estructuras metálicas 18, entre las que se ha dispuesto una película aislante adhesiva preferiblemente de doble cara 19. En los lados exteriores de las dos estructuras 18, respectivamente, se aplica una cubierta de aleación conductora 21. Esta cubierta se puede omitir cuando la cantidad del material sobre los hilos 5' sea suficiente para hacer un contacto óhmico adecuado entre la estructura 17 y los hilos 5'. En este caso, se recomienda que la estructura 17 debería estar estañada.

Esta realización también es adecuada para su uso con un electrodo 16 en forma de una malla, en el que los hilos 5" de la segunda pluralidad (que no se muestra) corren perpendiculares a los hilos 5' de la primera pluralidad y están en contacto óhmico con los correspondientes lados de la estructura 17 representada en la figura 9.

Las siguientes realizaciones ilustran cómo, con la ayuda del electrodo 16 de esta invención, que se produce en forma de una tira sin fin, se puede conectar una matriz de células PV en serie y en paralelo unas con otras constituyendo de este modo módulos PV.

Las figuras 10A, 10B y 10C muestran un electrodo sin fin 16 con barras de terminales en forma de peine 23, las barras longitudinales 24 del cual fuera de los hilos 5' corren en paralelo a ellos en la dirección de la extensión longitudinal del electrodo sin fin 16. Las barras longitudinales 24 están íntegramente conectadas con las barras transversales 25 que corren de manera transversal (los "dientes" del peine), que desde una u otra dirección, respectivamente, están sobresaliendo dentro de los espacios entre las obleas 3.

Como se muestra en la figura 10B (sección transversal A - A de la figura 10A), las superficies superiores de las barras transversales de la izquierda 25 están dotadas de una película aislante 19, mientras que sobre la superficie inferior se aplica una cubierta 21 que consiste en una aleación eléctricamente conductora. Para las barras transversales de la derecha 25 la película aislante 19 se deposita sobre la superficie inferior y la cubierta 21 que consiste en una aleación conductora se deposita sobre la superficie superior.

La figura 10C muestra la sección transversal B - B de la figura 10A.

En la realización mostrada en las figuras 10A a 10C, las células PV dispuestas de esa manera están conectadas en paralelo unas con otras, ya que las respectivas barras transversales de la izquierda 25 están conectadas eléctricamente a los lados inferiores de las obleas 3 y las respectivas barras transversales de la derecha 25 están conectadas eléctricamente con el lado superior de las obleas 3 estando situado sobre el lado derecho de las mismas.

Las figuras 11A y 11B muestran una realización, en la que las conexiones en paralelo de las células PV similares a las figuras 9A y 9B están configuradas en forma de una estructura de tres capas 17, que está laminada desde una matriz sin fin de estructuras metálicas 18 dispuestas en serie y una película de polímero aislante 19 dispuesta entre estas estructuras 18. En los lados exteriores de las estructuras 18 se deposita una cubierta conductora 21 que funde a bajas temperaturas. Esta cubierta 21 está en contacto óhmico con los hilos 5' y 5" del electrodo 16.

En esta realización, las obleas 3 se colocan dentro de las "ventanas" de la estructura 17 y las células PV se conectan en paralelo unas con otras por medio de los electrodos superior e inferior 16.

Las figuras 12A y 12B muestran una conexión en serie de varias células PV. Las barras de terminales 25 que corren en dirección transversal a la extensión longitudinal del electrodo 16, con hilos 5' interrumpidos periódicamente, están dotadas de una cubierta 21 en sus lados superior e inferior, respectivamente. Por lo tanto, los hilos 5' del electrodo superior 16 proporcionan un contacto óhmico entre el lado superior de una barra de terminales 25 y el lado superior de una oblea 3 dispuesta en el lado derecho de la misma, mientras que los hilos 5' del electrodo inferior 16 proporcionan un contacto óhmico entre el lado inferior de cada una de las barras de terminales 25 y el lado inferior de la oblea 3 dispuesta en el lado izquierdo de la misma.

La figura 13 muestra un electrodo sin fin 16, en el que la conexión en serie de las células PV se lleva a cabo por medio de barras de terminales metálicas en forma de U 26. Las barras 24 de las barras de terminales que corren en la dirección longitudinal están en contacto óhmico con los hilos 5", y las barras transversales 25 de la misma que corren en una dirección transversal al electrodo 16 están en contacto óhmico con los hilos 5'. Las obleas 3 están colocadas dentro del espacio de las barras de terminales metálicas en forma de U 26 y entre los electrodos superior e inferior 16.

Las conexiones de las obleas 3 con los hilos 5' son similares a las que se muestran en la figura 12B.

Las figuras 14A y 14B muestran un electrodo 16 como puede usarse para la conexión en serie de las células PV como se representa en las figuras 12A y 12B y de manera análoga para la disposición de la figura 13. Los hilos 5' están

## ES 2 297 257 T3

cada uno de ellos interrumpidos por medio de perforaciones 29, que incluyen solamente un hilo 5' o varios hilos 5', respectivamente. Por supuesto, la solidez del electrodo 16 permanece mejor cuando las perforaciones 29 interrumpen solamente un hilo 5', en comparación con el caso en el que se perforan varios hilos vecinos. En el último caso, se recomienda que se aplique una tira de película de polímero transparente adhesiva (que no se muestra) sobre la parte perforada del electrodo 16 en una dirección transversal a la extensión longitudinal del electrodo 16.

De manera similar, en la realización de la figura 13, las barras de terminales 24 que corren en la dirección longitudinal, también pueden ser interrumpidas, junto con los hilos 5'. De esta forma, sobre el lado superior e inferior de la oblea 3 respectivamente se pueden usar electrodos idénticos 16, que se desplazan unos con respecto a los otros solamente en la anchura de la distancia entre las barras transversales 25 y el borde de la siguiente oblea 3.

Con referencia a las figuras 15 a la 19 se describe una construcción básicamente diferente de las conexiones para llevar la energía eléctrica.

El elemento básico de la disposición de acuerdo con la figura 15 es una estructura doble laminada de tres capas 27 que comprende dos estructuras metálicas (de manera preferible, una hoja de cobre) 28 y una película aislante 19 proporcionada entre estas estructuras. En la barra central de doble estructura 27 y paralela a la misma, se proporciona un escalón. La altura del mencionado escalón corresponde al grosor de la hoja de metal, es decir, aproximadamente de 0,2 a 0,3 mm (figuras 15A, 15B y 15C). Como se ve en la figura 15B, las estructuras metálicas 28 están superpuestas en posiciones desplazadas unas con respecto a las otras, es decir, la parte superior izquierda de una estructura metálica 28 está dispuesta por encima de la parte inferior derecha de la estructura izquierda adyacente 28. La película aislante 19 proporcionada entre las dos estructuras metálicas superpuestas 28 de estructuras dobles adyacentes 27 se pliega en su extremo en una dirección hacia arriba o hacia abajo y se extiende hasta la superficie de la construcción de la estructura 27. Las obleas 3 se colocan dentro de las "ventanas" de las estructuras 27. Los hilos 5' de los electrodos perforados superior e inferior 16 están en contacto óhmico con las superficies de la oblea 3, y las respectivas barras izquierda y derecha de cada una de las ventanas de la estructura. Los hilos 5" están eléctricamente conectados con los hilos 5' y las respectivas barras superior e inferior de las estructuras. Las superficies de las estructuras metálicas 28 en contacto con los hilos 5' están, en caso de que sea necesario, recubiertas con una cubierta de aleación 21 que tiene un bajo punto de fusión o están estañadas.

De esta forma, es posible interconectar en serie una matriz de células PV de cualquier número.

Las figuras 16A, 16B y 16C muestran una construcción similar aunque sustancialmente simplificada en la que el electrodo no perforado 16 corresponde al que se muestra en las figuras 5C y 5D. En este caso, se utilizan las barras longitudinales 32 con un escalón. Estas barras longitudinales 32 están alineadas al igual que las estructuras 28 como se representa en la figura 15B y en la figura 15C.

La figura 17 muestra una representación en dibujo que es representativa de toda una matriz, dos estructuras metálicas superpuestas 28 con un escalón en la parte media y dispuestas en posiciones desplazadas unas con respecto a otras. La característica especial de esta disposición es que las barras transversales 31 están abarcando las respectivas ventanas inferiores de la derecha, estando las mencionadas barras 31 conectadas de manera integral con la estructura 28. En esta realización, las barras 31 asumen la función de los hilos 5' del electrodo inferior 16 de esta invención, es decir, en la célula PV completa están en contacto óhmico con la respectiva superficie inferior de la oblea 3 situada por encima de ellas.

Con el fin de completar la matriz sin fin de las células PV conectadas en serie, se proporcionan estructuras simples 30 en sus extremos, en las que la estructura simple 30 proporcionada en el extremo izquierdo de la matriz también se proporciona con las barras 31.

La construcción se completa por medio de un electrodo superior 16 con mallas de electrodo 6, cuyos hilos 5' están perforados y después del calentamiento y de la presión se conectan con la superficie superior de la oblea 3 y las estructuras 28 y 30. El electrodo inferior 16 tiene secciones de hilo perforado 5" o campos de hilo 5" que van corren en la dirección longitudinal, las mencionadas secciones de hilo o campos de hilo estando conectadas en la célula PV completa con las barras 31 y la estructura 30. aquí asumen la función de los hilos 5", es decir, de los hilos que están solamente conectados de manera indirecta con la superficie inferior de la oblea 3.

La figura 18 muestra una realización similar a la de la figura 17, con la diferencia de que en lugar del electrodo inferior 16, se proporciona una película de polímero transparente 10 a la que se aplica un adhesivo 11.

Finalmente, en la figura 19 se muestra una realización similar a la que se representa en las figuras 17 y 18. El electrodo superior 16 tiene una malla ininterrumpida 6. Con el fin de que los hilos del electrodo 16 puedan ser perforados después de la finalización de la conexión en serie de las células PV en la barra de la izquierda y en la barra central de la estructura 28 así como en las barras izquierda y derecha de la estructura superior e inferior 30, se proporciona una ranura 33. Esta ranura 33 corre paralela al escalón. Estas ranuras 33 permiten que los hilos 5' del electrodo superior 16 sean cortados completamente después del montaje del módulo PV. La anchura de la ranura 33 se calcula de una manera tal que los hilos 5' después de la perforación permanezcan interrumpidos de manera permanente y aislados unos de otros.

## REIVINDICACIONES

1. Un electrodo para hacer contacto con una superficie de un elemento fotovoltaico (oblea 3), comprendiendo el electrodo una película (10) ópticamente transparente y eléctricamente aislante, una capa adhesiva (11) proporcionada sobre una superficie de la mencionada película (10), y una primera pluralidad de hilos (5') sustancialmente paralelos y eléctricamente conductores estando integrados dentro de la capa adhesiva (11), una parte de las superficies de los mencionados hilos (5') sobresaliendo de la capa adhesiva (11) y al menos sobre la superficie que sobresale de la capa adhesiva (11) estando cubiertos por una cubierta (2) que comprende una aleación con un bajo punto de fusión, para proporcionar la soldadura de los mencionados hilos (5') sobre la superficie del mencionado elemento fotovoltaico, en el que los mencionados hilos (5') están integrados en la mencionada capa adhesiva, en la que los hilos (5') de la primera pluralidad están conectados eléctricamente a una primera barra de terminales (20).
2. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una segunda pluralidad de hilos (5'') que sustancialmente corren paralelos unos con otros está dispuesta entre la película transparente (10) y los hilos (5') de la primera pluralidad, los hilos (5', 5'') de la primera y de la segunda pluralidades formando juntos una malla (6) y los hilos (5'') de la segunda pluralidad estando conectados eléctricamente a una segunda barra de terminales (22).
3. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la primera y la segunda barra de terminales (20, 22) están conectadas eléctricamente una con la otra.
4. Electrodo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la barra o las barras de terminales (20, 22) se proporcionan en los respectivos extremos de los hilos (5', 5'').
5. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la barra o las barras de terminales (20, 22) se proporcionan en los extremos opuestos de los hilos de la primera o de la primera y de la segunda pluralidades de hilos (5', 5'') fuera del contorno del elemento fotovoltaico (oblea 3), a la superficie de la cual se van a conectar los hilos (5', 5'').
6. Electrodo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a la 5, en el que la primera y la segunda barra de terminales (20, 22) están conectadas para formar un ángulo (figura 8).
7. Electrodo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a la 5, en el que las barras de terminales (20, 22) están formadas como una estructura en forma de U, los hilos de una de las dos pluralidades (5') estando conectados a la base y los hilos de la otra pluralidad (5'') estando conectados a las patas libres de la U (figura 13).
8. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** porque las barras de terminales (32) se extienden sobre la longitud de dos elementos fotovoltaicos adyacentes (3) para ser conectadas y que se proporciona un escalón en su centro, de forma que se puede acoplar conjuntamente una pluralidad de barras de terminales (32) formando una fila, en la que la mitad de una barra de terminales (32) está dispuesta por debajo o por encima de las mitades superior o inferior, respectivamente, de la barra de terminales vecina (32), en la que entre las barras de terminales (32) se proporciona una película aislante (19) (figura 16).
9. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 5, en el que las barras de terminales se forman como una estructura cerrada (17), el área abierta (ventana) de la mencionada estructura (17) sobrepasando las dimensiones del elemento fotovoltaico correspondiente (3) (figura 9).
10. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la barra o las barras de terminales están formadas como una doble estructura (17) con dos ventanas adyacentes, cuya área abierta sobre pasa las dimensiones de los elementos fotovoltaicos correspondientes (3).
11. Electrodo de acuerdo con las reivindicaciones 9 ó 10, en el que la estructura (17) comprende dos estructuras metálicas (18) con una película aislante (19) proporcionada entre ellas.
12. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que se proporciona un escalón en la barra central de la doble estructura (17), de forma que se puedan acoplar una pluralidad de estructuras (17) juntas formando una fila, en la que la mitad de la doble estructura (17) está dispuesta por debajo o por encima de las mitades inferior o superior, respectivamente, de la doble estructura vecina (17).
13. Electrodo de acuerdo con la reivindicación 11 ó 12, en el que se proporciona una ranura (33) en la barra central de la doble estructura (28), la mencionada ranura que corre paralela al mencionado escalón, de forma que al finalizar un módulo PV, los hilos transversales (5') del electrodo (16) se pueden cortar.
14. Electrodo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a la 13, en el que las barras metálicas (31) abarcan al menos una ventana de la estructura o estructuras, las mencionadas barras (31) estando conectadas de manera íntegra con la correspondiente estructura metálica (18).
15. Una pluralidad de electrodos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los electrodos están formados como una tira sin fin continua, que se puede cortar a una longitud correspondiente a la longitud

# ES 2 297 257 T3

de una matriz de elementos fotovoltaicos adyacentes (3) que vayan a ser conectados para formar un módulo PV, en el que los hilos 5' que corren en la dirección longitudinal de la tira se cortan a distancias correspondientes a las distancias de las células PV (figura 14).

- 5        16. La tira de electrodo de acuerdo con la reivindicación 15, en la que se proporciona una barra de terminales sin fin (22) a lo largo de al menos uno de los bordes de la película transparente (10).
- 10      17. Una tira de electrodo de acuerdo con la reivindicación 16, en la que a lo largo de cada borde de la película transparente (10) se han dispuesto barras de terminales en forma de peine (23), cuyos dientes (25) alcanzan respectivamente desde un lado entre dos elementos fotovoltaicos adyacentes (3) sobre la anchura de los hilos (5') de la primera pluralidad y estando de manera alternativa en contacto eléctrico con los lados superior e inferior de los elementos fotovoltaicos correspondientes (3) y estando aislados de la otra superficie.
- 15      18. Una célula PV o un módulo PV comprendiendo al menos un electrodo (16) o una tira de electrodo (16) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo una o más células fotovoltaicas (3) con una cubierta eléctricamente conductora, antirreflexiva y ópticamente transparente (4) sobre al menos una de sus superficies, los hilos (5') de la primera pluralidad estando soldados sobre la cubierta (4) y sobre las respectivas barras de terminales (20) o estructuras de terminales (17) por medio de la aleación (2).
- 20      19. Una célula PV o un módulo PV de acuerdo con la reivindicación 18 comprendiendo un electrodo (16) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que los hilos (5', 5'') de la primera y de la segunda pluralidades están unidos juntos en sus puntos de cruce y sobre las respectivas barras de terminales o estructuras de terminales por medio de la aleación (2).

25

30

35

40

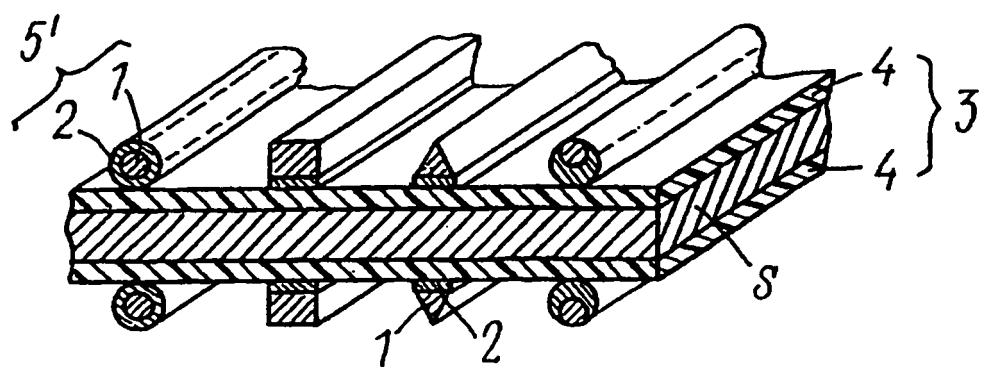
45

50

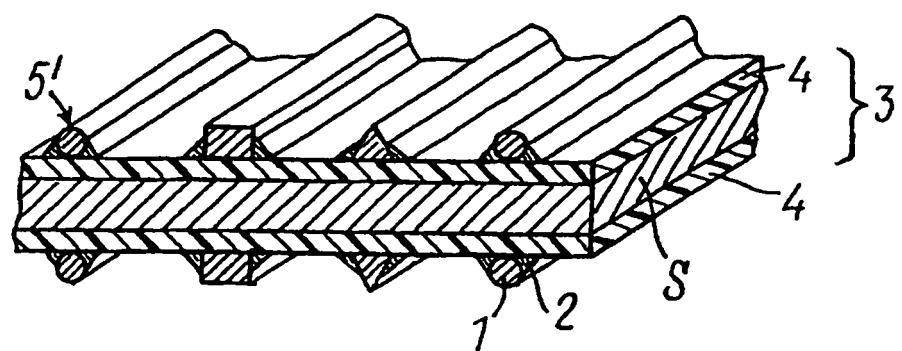
55

60

65



*FIG. 1*



*FIG. 2*

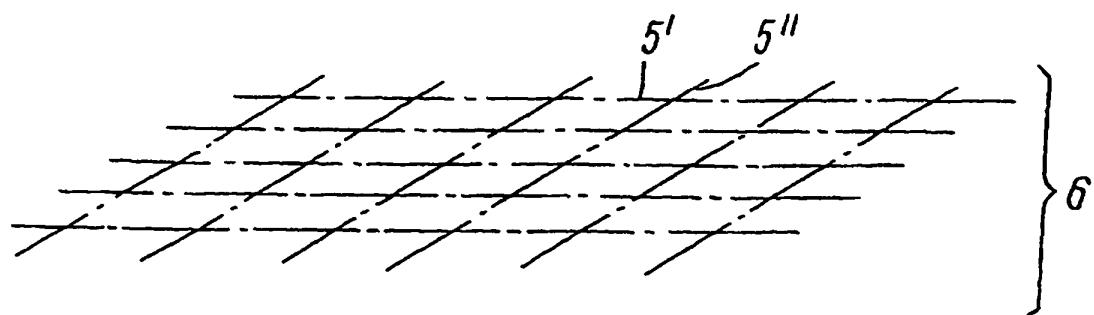


FIG. 3

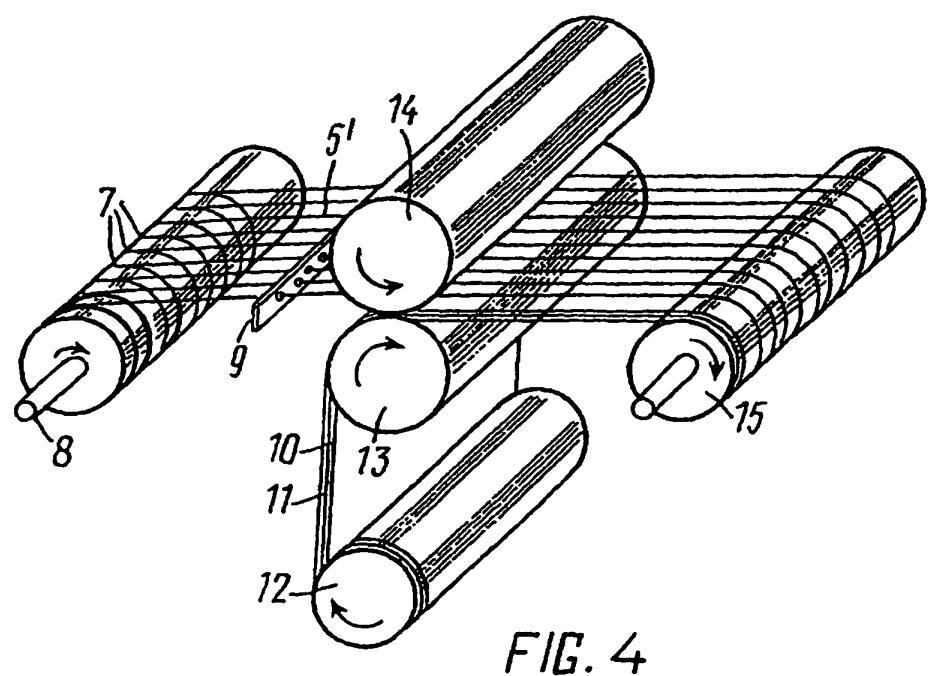


FIG. 4

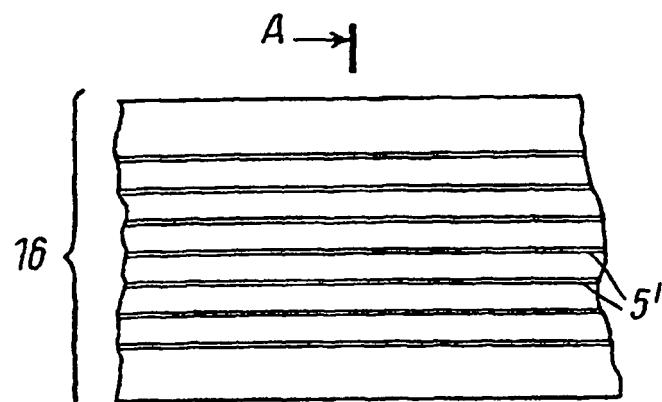


FIG. 5A

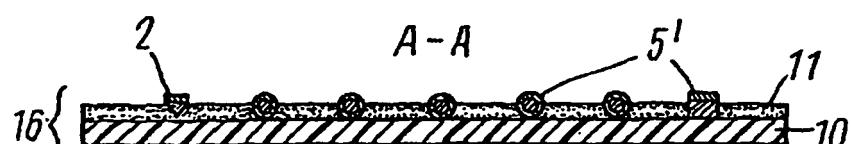


FIG. 5B

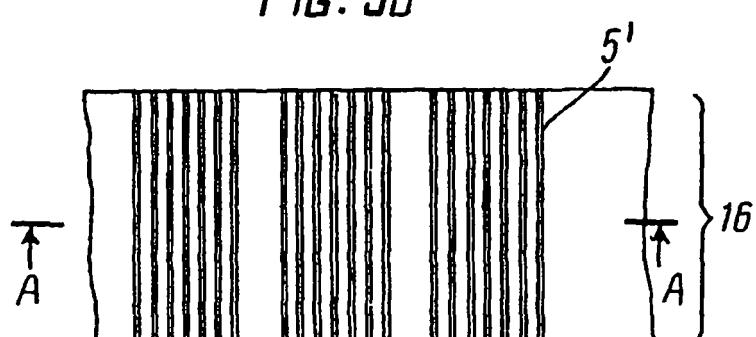


FIG. 5C

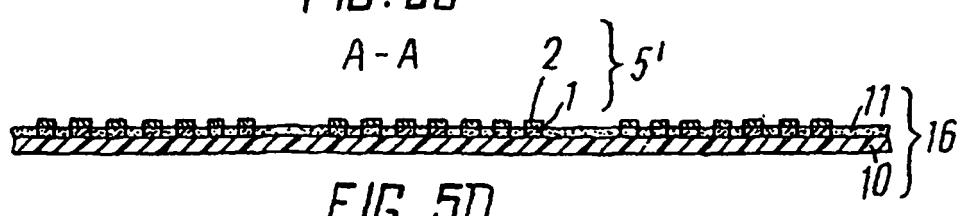
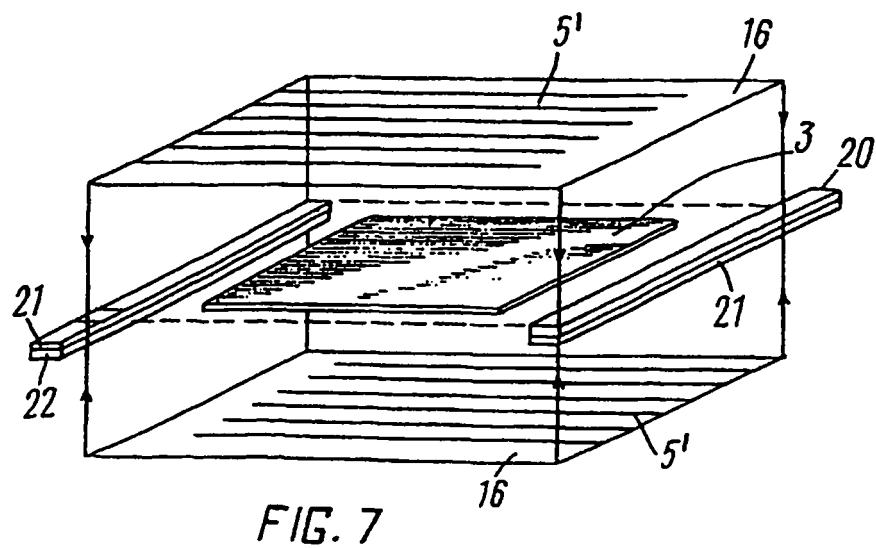
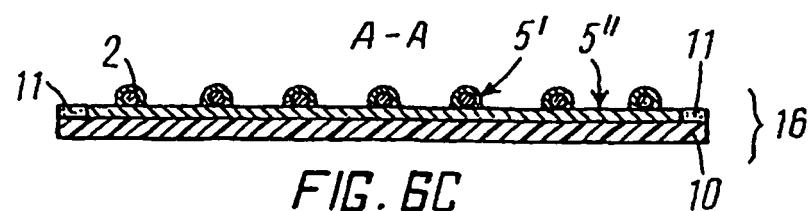
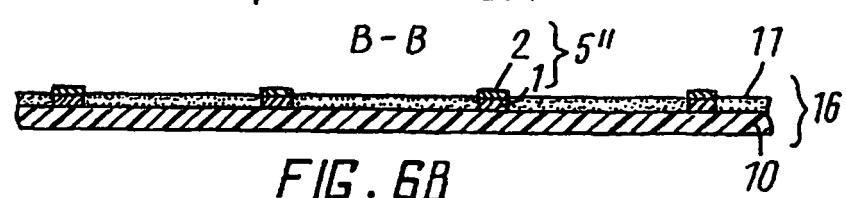
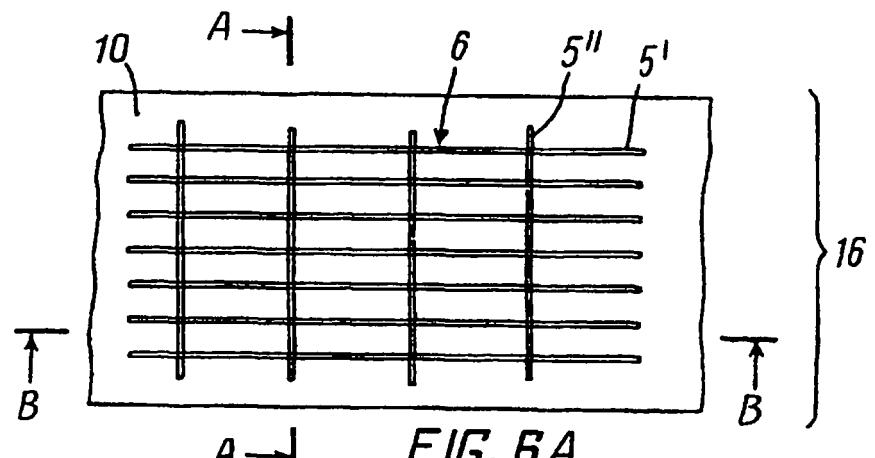


FIG. 5D



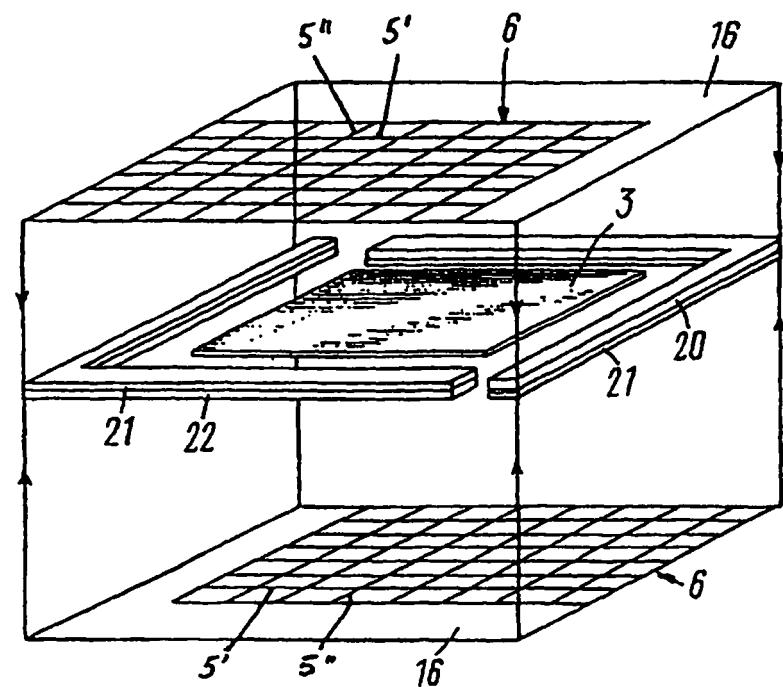


FIG. 8

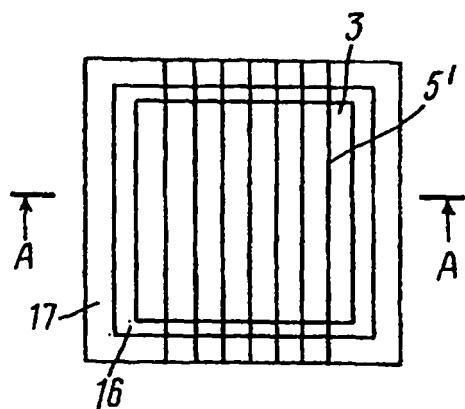


FIG. 9A

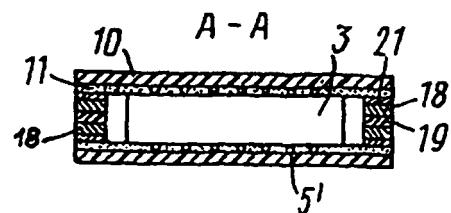
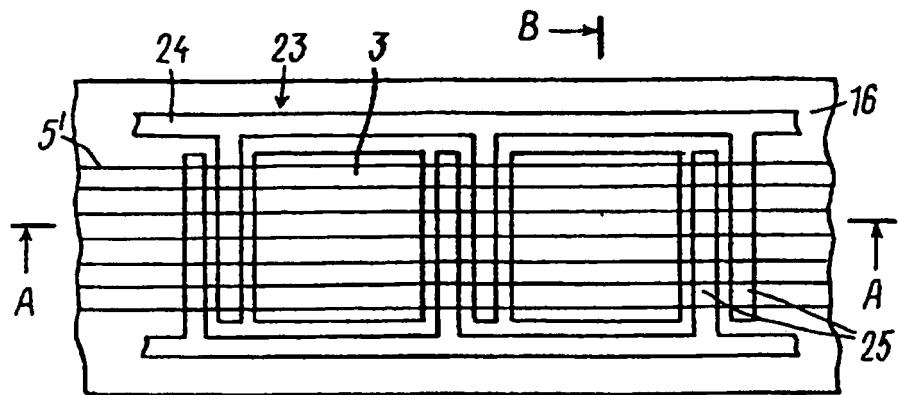
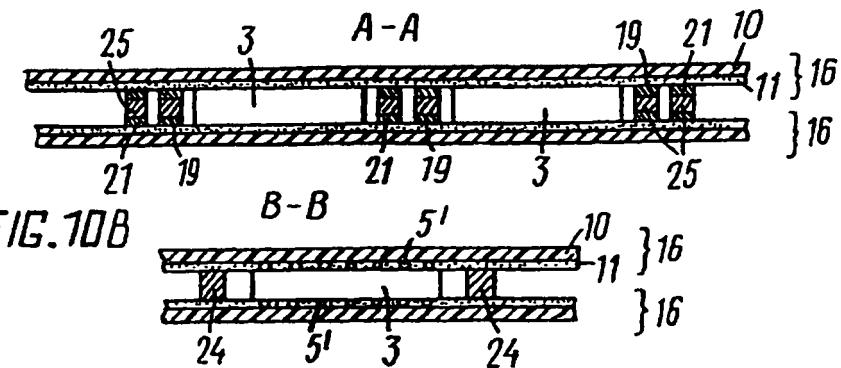


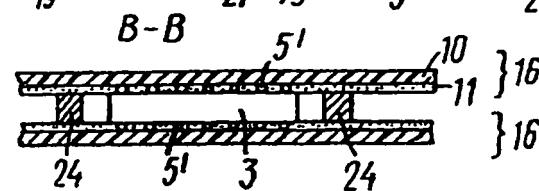
FIG. 9B



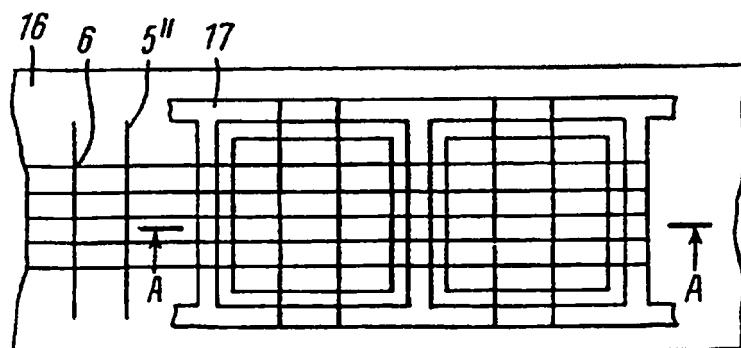
*FIG. 10A*      *B* →



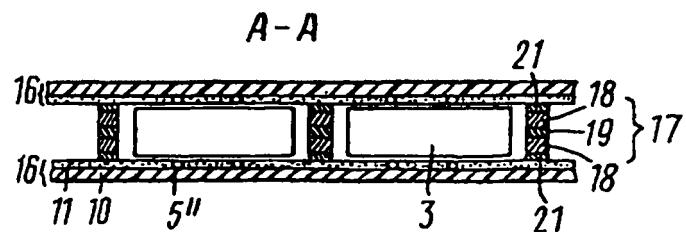
*FIG. 10B*



*FIG. 10C*



*FIG. 11A*



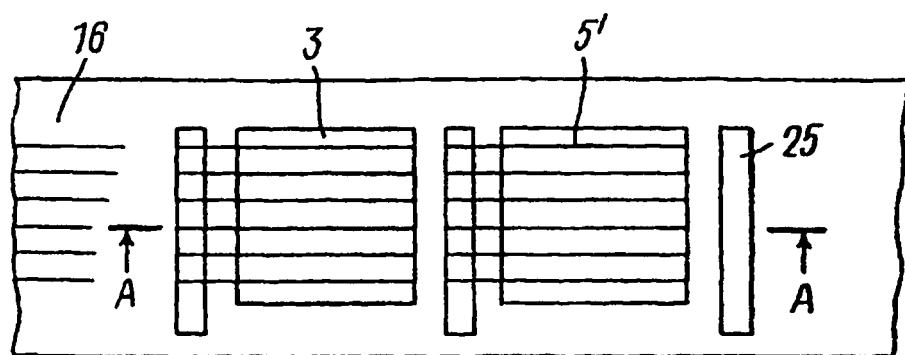


FIG. 12A

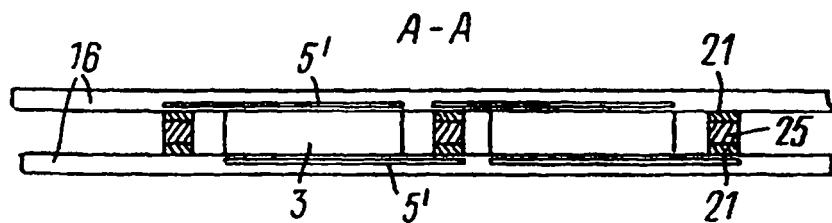


FIG. 12B

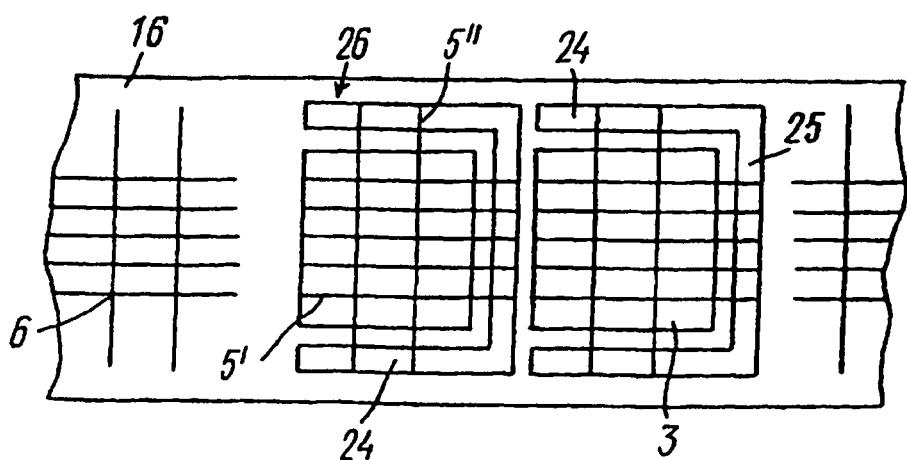
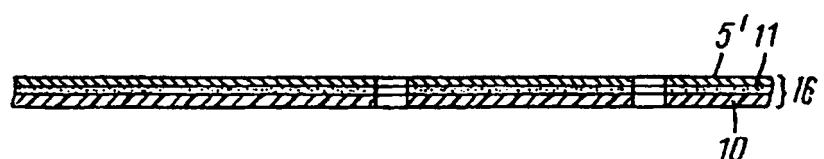
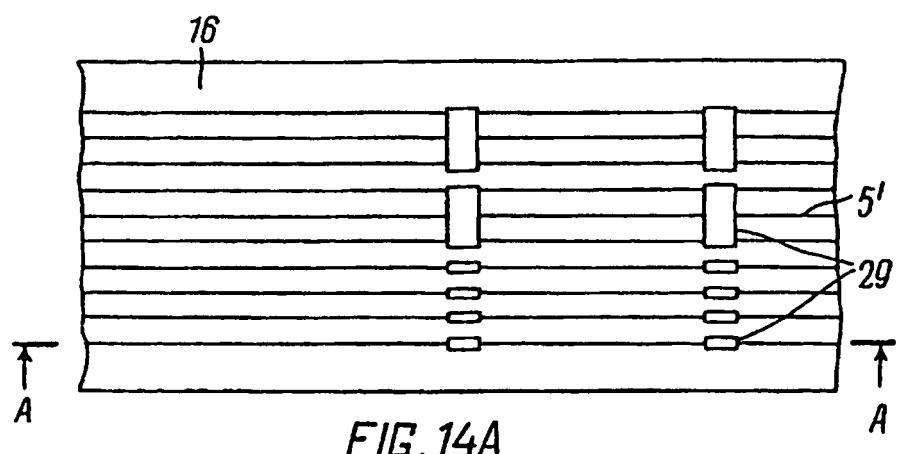
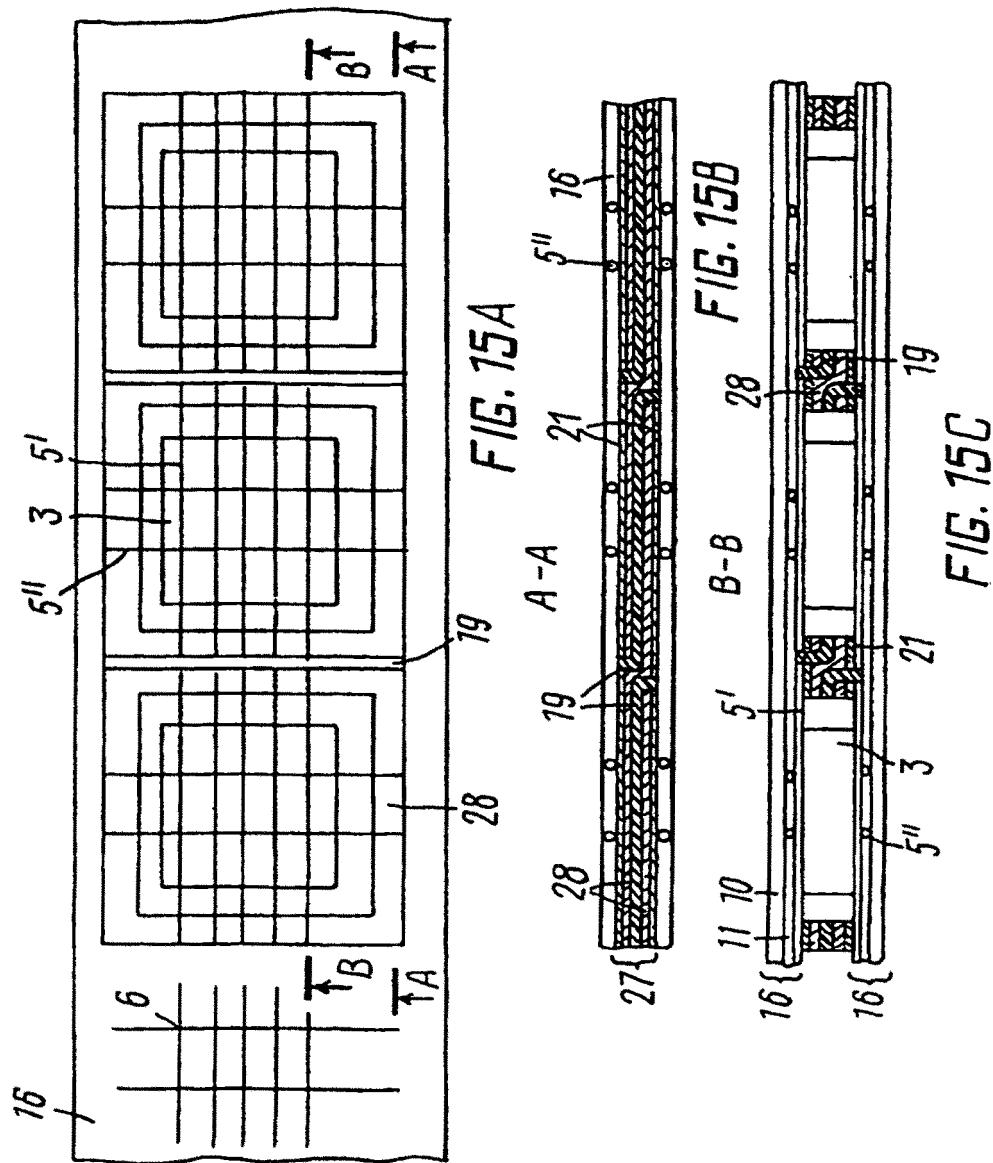
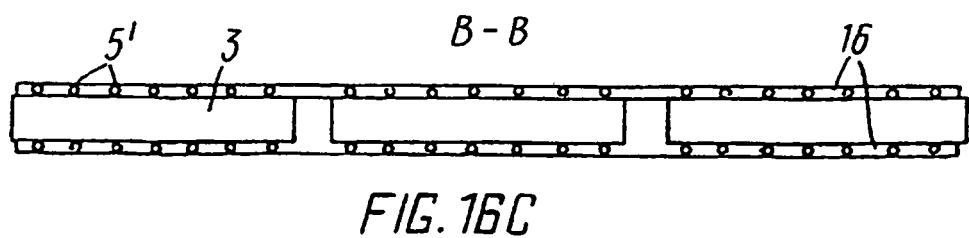
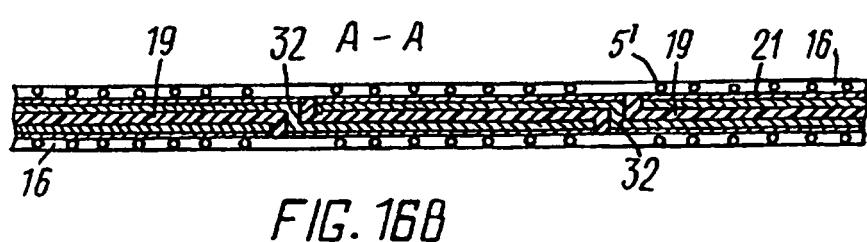
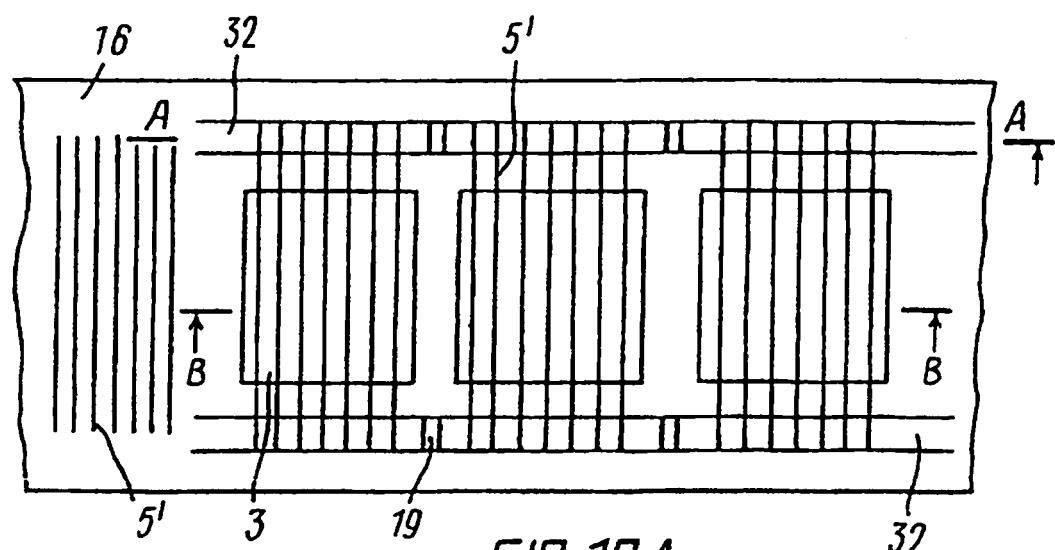
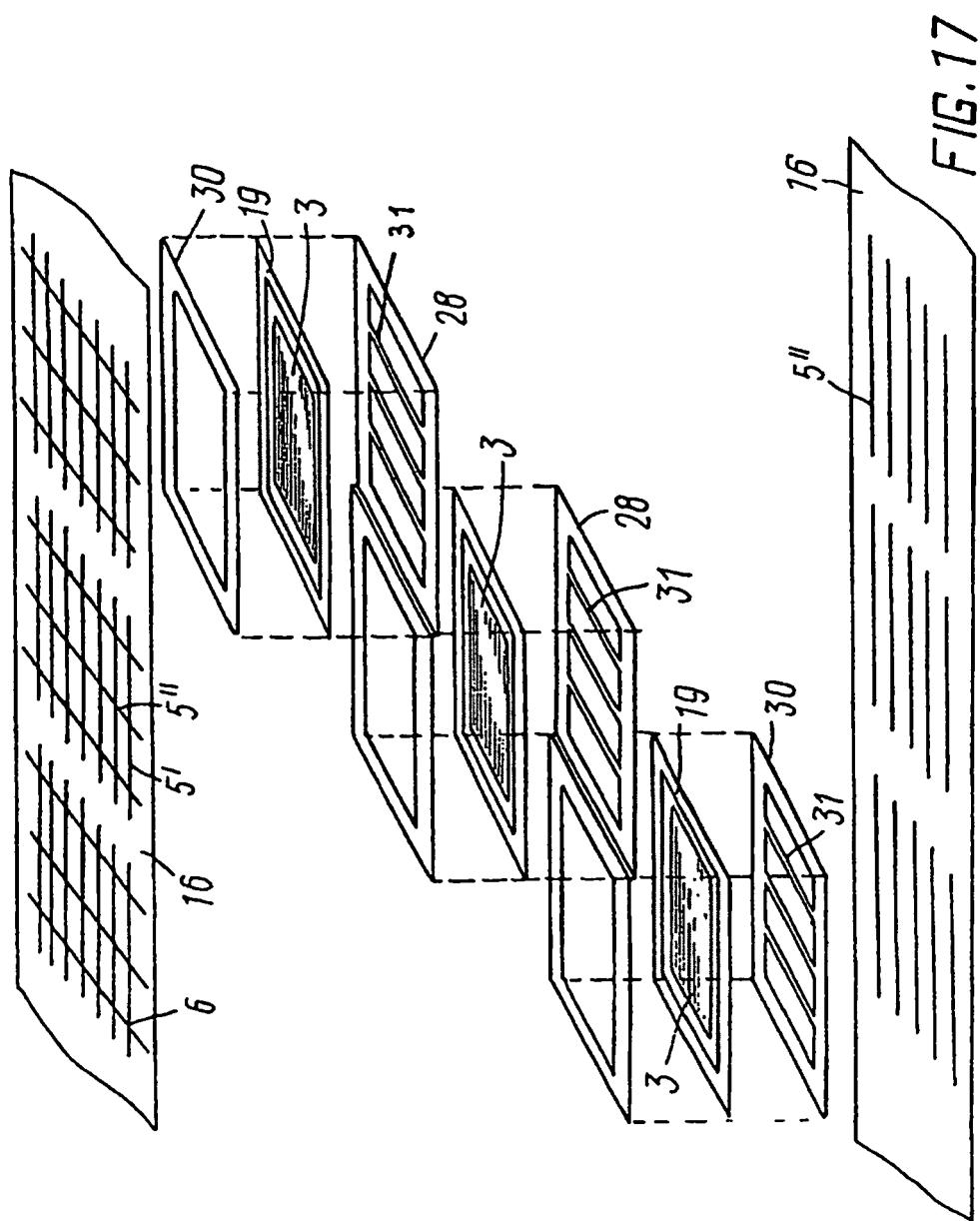


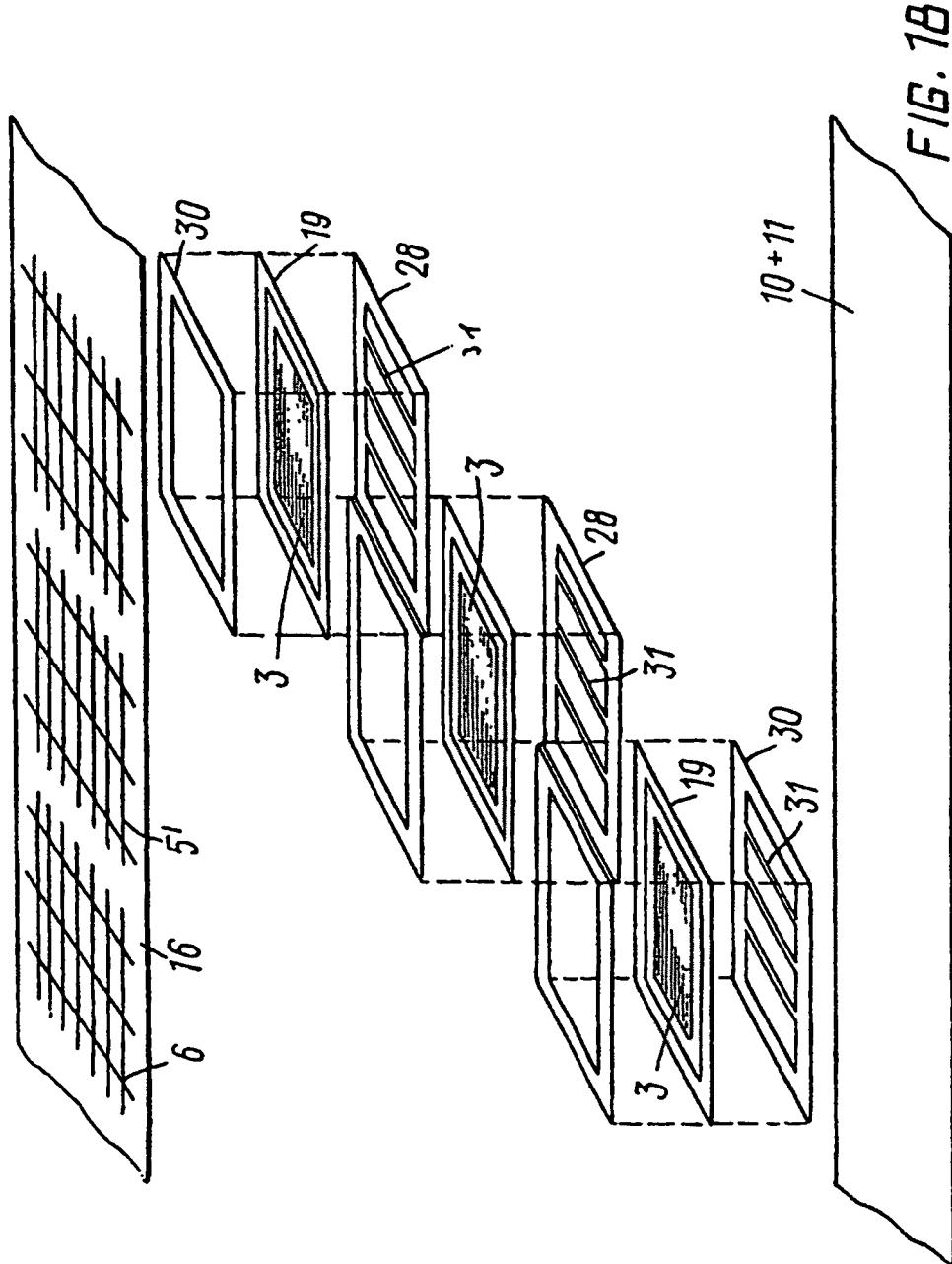
FIG. 13











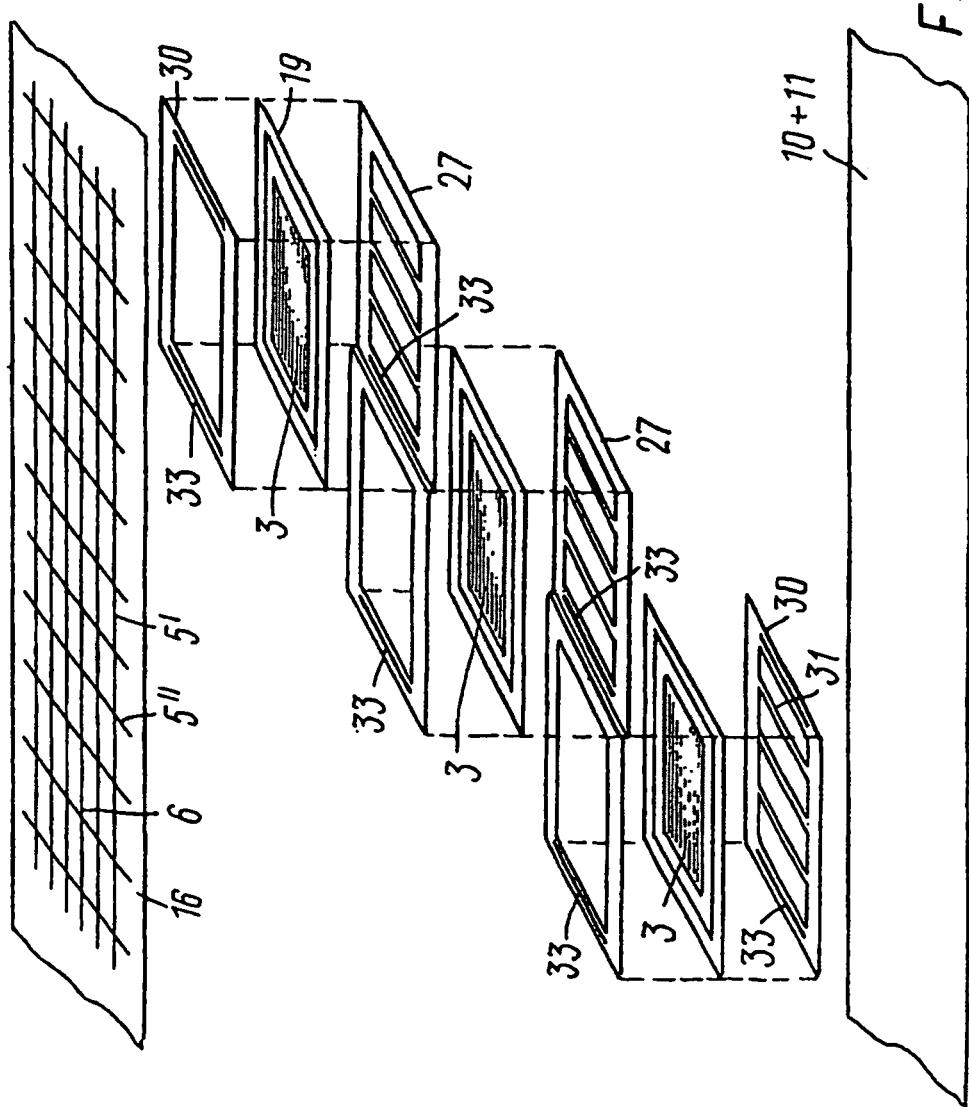


FIG. 19