

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 635 289**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/043** (2014.01)

**H01L 31/054** (2014.01)

**H01L 31/0224** (2006.01)

**H01L 31/0392** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2009** **PCT/US2009/035322**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2009** **WO09108800**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2009** **E 09715056 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2017** **EP 2255392**

54 Título: **Método y aparato para la fabricación de sustratos de compuesto para dispositivos electro-  
ópticos de película delgada**

30 Prioridad:

**28.02.2008 US 38893**

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

**03.10.2017**

73 Titular/es:

**SUNLIGHT PHOTONICS INC. (100.0%)**  
**2045 Lincoln Highway, Suite One West**  
**Edison, NJ 08817, US**

72 Inventor/es:

**FROLOV, SERGEY y**  
**CYRUS, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

ES 2 635 289 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

Método y aparato para la fabricación de sustratos de compuesto para dispositivos electro-ópticos de película delgada

#### Declaración de solicitudes relacionadas

La presente solicitud se relaciona con la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º de Serie 12/038.871 (Expediente del Representante N.º 2800/4), presentado en la misma fecha con el presente documento, titulado "Composite Substrates For Thin Film Electro-Optical Devices".

#### Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a dispositivos electro-ópticos de película delgada y a métodos de producción de dichos dispositivos. Más particularmente, la presente invención se refiere a dispositivos fotovoltaicos que tienen capas conductoras transparentes.

#### Antecedentes de la invención

Se producen actualmente una variedad de dispositivos electro-ópticos, que incluyen visualizadores de pantalla plana y dispositivos fotovoltaicos, en la forma de película delgada de área grande. Dichos dispositivos requieren típicamente capas delgadas de material conductor transparente. Pueden conseguirse mejoras significativas en el rendimiento de estos dispositivos mediante la mejora de las características ópticas y eléctricas de dichas capas conductoras transparentes. Adicionalmente, estos dispositivos se depositan normalmente en sustratos de área grande. Existe una necesidad continuada en la mejora del rendimiento de los dispositivos electro-ópticos proporcionando sustratos que tengan características eléctricas y ópticas que sean superiores a las capas conductoras transparentes actualmente disponibles.

La Patente de Estados Unidos N.º 5.554.229 se refiere a un elemento de dirección de la luz para dispositivos fotovoltaicos y métodos para su fabricación. El elemento de dirección de la luz está en la forma de una cubierta de encapsulado que encaja sobre la parte superior de una célula fotovoltaica subyacente. Se proporciona la superficie inferior de la cubierta encapsulado con ranuras con forma de V que están en alineación con las líneas de la rejilla subyacente de la célula fotovoltaica. Las paredes laterales de las ranuras se recubren preferentemente con un recubrimiento reflector. La luz incidente, que cae sobre las paredes laterales reflectoras puede reflejarse sobre partes adyacentes de la célula fotovoltaica, minimizando de ese modo los efectos de sombra provocados por las líneas de rejilla.

Se ha conocido por la Patente de Estados Unidos N.º 5.076.857 una célula fotovoltaica con un sustrato base ópticamente transparente y eléctricamente aislante que tiene una pluralidad de ranuras en V.

La Patente de Estados Unidos N.º 4.379.202 divulga una célula solar que tiene una cubierta transparente con ranuras en V formadas mediante superficies inclinadas, planas.

El Modelo de Utilidad Alemán DE 94 21 390 U1 divulga una célula solar con una cubierta que consiste en un polímero transparente que comprende una estructura similar a tejado y una capa de vidrio.

#### Sumario de la invención

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método para producir un dispositivo electro-óptico que tiene al menos una capa conductora ópticamente transparente con baja resistencia eléctrica. El método incluye proporcionar un sustrato de compuesto que incluye un sustrato base ópticamente transparente y eléctricamente aislante y una rejilla eléctricamente conductora dispuesta en ranuras localizadas en el sustrato base. También se proporciona un módulo electro-óptico que tiene al menos una capa conductora transparente. El sustrato de compuesto se fija sobre el módulo electro-óptico de modo que se establece un contacto eléctrico entre la rejilla y la capa conductora transparente del módulo electro-óptico.

Las ranuras tienen una forma en sección transversal que comprende una pluralidad de lados, dos de los cuales forman un vértice definido por un ángulo menor que  $\arccos(1/n)$ , en el que  $n$  es el índice de refracción del sustrato base, en el que dicho sustrato de compuesto incluye un material ópticamente reflector que rellena dichas ranuras y en el que dichas ranuras tienen una sección transversal triangular. En lo que sigue las partes de la descripción y dibujos que se refieren a realizaciones que no están cubiertas por las reivindicaciones, no se presentan como realizaciones de la invención sino como técnica antecedente o ejemplos útiles para la comprensión de la invención.

De acuerdo con la invención, la rejilla es ópticamente no bloqueante.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el módulo electro-óptico comprende el menos un módulo fotovoltaico

que tiene una primera y segunda capas conductoras y al menos una primera y segunda capas de semiconductor dispuestas entre las capas conductoras. La primera y segunda capas de semiconductor definen una unión en una interfaz entre ellas. Al menos una de las capas conductoras es transparente.

- 5 De acuerdo con un aspecto de la invención, el módulo electro-óptico comprende una pluralidad de módulos electro-ópticos, teniendo cada uno una primera y segunda capas conductoras y al menos una primera y segunda capas de semiconductor dispuestas entre las capas conductoras, y una pluralidad de sustratos de compuesto interpuestos sobre la parte superior y entre los módulos.
- 10 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un método para reducir las pérdidas ópticas en dispositivos electro-ópticos que tienen al menos un patrón de rejilla metálica. El método incluye proporcionar al menos un sustrato de compuesto que incluye un sustrato base transparente y eléctricamente aislante y un patrón de ranuras dispuestos en el sustrato base. El patrón de ranuras coincide con el patrón de la rejilla metálica. El sustrato de compuesto incluye adicionalmente un material ópticamente reflector que rellena las ranuras. El sustrato de compuesto se fija al dispositivo electro-óptico. El patrón de ranuras está alineado sobre la parte superior del patrón de rejilla metálica.
- 15

De acuerdo con un aspecto de la invención, las ranuras rellenas producen una rejilla ópticamente no bloqueante.

- 20 De acuerdo con un aspecto de la invención, el material ópticamente reflector es un material conductor.

En un ejemplo relacionado con la invención, se proporciona un aparato para la fijación de un sustrato de compuesto con una rejilla conductora embebida sobre un dispositivo electro-óptico. El aparato incluye un sistema de recogida y colocación para el manejo del dispositivo electro-óptico y un aparato para depositar soldadura con un patrón que coincide con un patrón definido por la rejilla conductora embebida. Se proporciona al menos un elemento de presión para ejercer una fuerza de compresión para la fijación del sustrato sobre el dispositivo. El aparato incluye también un elemento de calentamiento para la soldadura a reflujo y un sistema de alineación para el posicionamiento del sustrato y los módulos y la alineación del patrón definido por la soldadura con el patrón definido por la rejilla conductora embebida.

25

30

En el ejemplo puede proporcionarse una bomba de vacío para eliminar el aire cuando se aplica presión para fijar el sustrato sobre el dispositivo.

En otro ejemplo relacionado con la invención, se proporciona un aparato para la fijación de un sustrato de compuesto con una rejilla conductora embebida sobre un dispositivo electro-óptico. El aparato incluye un sistema de recogida y colocación para el manejo del dispositivo y un aparato para depositar epoxi conductor con un patrón que coincide con un patrón definido por la rejilla conductora embebida. Se proporciona al menos un elemento de presión para ejercer una fuerza de compresión para la fijación del sustrato sobre el dispositivo. Se proporciona un elemento de calentamiento para el curado del epoxi. Se proporciona un sistema de alineación para el posicionamiento del sustrato y el módulo y la alineación del patrón definido por el epoxi con el patrón definido por la rejilla conductora embebida.

35

40

En este ejemplo, puede proporcionarse un proceso para la fijación de un sustrato de compuesto con una rejilla conductora embebida sobre un dispositivo electro-óptico. El método comienza con la alimentación de una pluralidad de módulos electro-ópticos a través de una primera disposición de rodillo-con-rodillo. Cada uno de los módulos es un dispositivo electro-óptico de película delgada, completamente funcional. Cada uno de los módulos incluye primera y segunda capas conductoras y al menos una primera y segunda capas de semiconductor entre las capas conductoras. La primera y segunda capas de semiconductor definen una unión en una interfaz entre ellas. Se alimenta una pluralidad de sustratos de compuesto a través de una segunda disposición rodillo-con-rodillo. Cada uno de los sustratos es un sustrato ópticamente transparente con una rejilla conductora embebida en él. Uno de los módulos se posiciona y alinea sobre uno de los sustratos de compuesto. Se supervisa y mantiene la velocidad y temperatura de los módulos mientras son alimentados a través del primer sistema de rodillo-con-rodillo. Se ejerce una fuerza de compresión para la fijación del módulo al sustrato del compuesto.

45

50

## 55 Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista en perspectiva de un sustrato transparente, eléctricamente aislante que tiene un patrón de ranuras rellenas con una rejilla eléctricamente conductora.

60 Las FIGS. 2a y 2b son vistas en sección transversal y superior, respectivamente, del sustrato transparente representado en la FIG. 1.

Las FIGS. 3a y 3b son vistas en sección transversal y superior, respectivamente, de una realización alternativa del sustrato transparente en el que las ranuras en las que se embebe la rejilla tienen una forma de sección transversal triangular.

65

Las FIGS. 4a- 4e muestran varios ejemplos de formas de sección transversal alternativa para las ranuras formadas en el sustrato transparente.

Las FIGS. 5A-5D muestran una vista superior o en planta de varios ejemplos de patrones alternativos en los que puede disponerse la rejilla conductora embebida, incluyendo patrones de línea recta (FIG. 5A), triangular (FIG. 5B), hexagonal (FIG. 5C), y sinusoidal (FIG. 5D).

Las FIGS. 6a-6e muestran ejemplos de formas de sección transversal alternativa para las ranuras formadas en el sustrato transparente en el que todas emplean ángulos reentrantes.

La FIG. 7 es una vista en sección transversal de un dispositivo fotovoltaico de unión p-n simple que se fija a un sustrato transparente que tiene una rejilla conductora embebida.

La FIG. 8 muestra una vista en sección transversal ampliada del dispositivo fotovoltaico de unión p-n simple y del sustrato representado en la FIG. 7.

La FIG. 9 es una vista en sección transversal de un dispositivo fotovoltaico de unión múltiple en el que los módulos fotovoltaicos individuales, en los que cada uno incluye una unión simple, se fijan a un sustrato transparente diferente teniendo cada uno una rejilla conductora embebida localizada sobre un único lado del sustrato.

La FIG. 10 es una vista en sección transversal de un dispositivo fotovoltaico de unión múltiple en el que los módulos fotovoltaicos individuales, en los que cada uno incluye una unión simple, se fijan a un sustrato transparente diferente teniendo cada uno una rejilla conductora embebida sobre ambos lados del sustrato.

Las FIGS. 11a y 11b muestran una vista en sección transversal y superior, respectivamente, de un ejemplo de sustrato transparente que tiene una rejilla conductora embebida con sección transversal triangular sobre su lado superior y una rejilla conductora embebida que tiene una sección transversal rectangular sobre su lado inferior.

La FIG. 12 muestra una vista en sección transversal de un sustrato transparente que tiene una rejilla metálica embebida con elementos conductores que tienen una forma de sección transversal triangular y una capa conductora transparente que cubre su superficie superior.

La FIG. 13 representa un proceso en el que un sustrato transparente que tiene una rejilla conductora embebida con elementos conductores que tienen una forma de sección transversal triangular se fija a la capa conductora superior de un dispositivo fotovoltaico de unión simple.

Las FIGS. 14a-14c muestran en sección transversal ejemplos alternativos de la rejilla conductora en la que una parte de cada elemento conductor individual sobresale por encima de la superficie del sustrato.

Las FIGS. 15a-15c muestran en sección transversal ejemplos alternativos de la rejilla conductora en la que una parte de cada elemento conductor individual sobresale por encima de la superficie del sustrato y en la que se aplica una capa delgada de un adhesivo transparente entre los elementos conductores individuales.

Las FIGS. 16a-16d muestran en sección transversal ejemplos de un sustrato transparente perforado con una rejilla conductora embebida que se forma a partir de elementos conductores de hilo circular, (FIG. 16a), elementos conductores de hilo circular y una capa adhesiva (FIG. 16b), elementos conductores de hilo cuadrado con una capa adhesiva (FIG. 16c) y elementos conductores con hilos de tipo flecha con una capa adhesiva (FIG. 16d).

La FIG. 17 muestra un ejemplo de un aparato para la fijación del sustrato transparente que tiene una rejilla conductora embebida con elementos conductores que tienen una forma de sección transversal triangular a la superficie conductora superior de un dispositivo fotovoltaico de unión simple.

La FIG. 18 es un ejemplo de un aparato para la fijación de un sustrato transparente que tiene una rejilla conductora embebida con elementos conductores que tienen una sección transversal de tipo flecha y una capa adhesiva a la superficie conductora superior de un dispositivo fotovoltaico de unión simple.

La FIG. 19 muestra en sección transversal un sustrato transparente que tiene una capa adhesiva y ranuras que tienen forma de sección transversal de flecha, con ranuras que se rellenan con tinta conductora.

La FIG. 20a es una vista en perspectiva y la FIG. 20b es una vista superior de un sustrato transparente que tiene ranuras rellenas con un primer conjunto de hilos cilíndricos que se extienden en una dirección y un segundo conjunto de hilos cilíndricos que se extienden en otra dirección que se sitúa por encima del primer conjunto de hilos.

La FIG. 21 es un trazado de las pérdidas eléctricas y ópticas que surgen en varios tipos de películas de TCO debido a la resistencia de la lámina y la absorbancia óptica.

Las FIGS. 22a y 22b son vistas en sección transversal de dos realizaciones del sustrato transparente en las que las rejillas conductoras están totalmente embebidas.

La FIG. 23 es un diagrama esquemático de un aparato para la fijación del sustrato de compuesto sobre un dispositivo electro-óptico.

## Descripción detallada de la invención

### Visión general

En la siguiente descripción detallada, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión global de realizaciones de ejemplo u otros ejemplos descritos en el presente documento. Sin embargo, se entenderá que estas realizaciones y ejemplos pueden ponerse en práctica sin los detalles específicos. En otros casos, no se describen en detalle métodos, procedimientos, componentes y circuitos bien conocidos, de modo que no oscurezcan la descripción que sigue. Adicionalmente, las realizaciones divulgadas tienen solamente la finalidad de ejemplo y pueden emplearse otras realizaciones en lugar de, o en combinación con, las realizaciones divulgadas.

Las realizaciones de este aparato y método pueden facilitar la capacidad para convertir eficiente y económicamente energía electromagnética en la forma de luz en energía eléctrica en la forma de corriente eléctrica. Realizaciones de este aparato y método pueden facilitar también una producción en gran volumen y un uso extendido de los dispositivos fotovoltaicos.

Varios dispositivos electro-ópticos de área grande utilizan actualmente capas delgadas de materiales ópticamente transparentes y eléctricamente conductores. Los ejemplos más prominentes de dichos dispositivos electro-ópticos incluyen dispositivos fotovoltaicos y dispositivos emisores de luz; ambos de estos dispositivos hacen uso de los denominados materiales de óxidos conductores transparentes (TCO). Se han desarrollado en los últimos años un cierto número de diferentes materiales TCO, incluyendo óxido de estaño, óxido de indio estaño (ITO), óxido de zinc y otros. Todos estos materiales padecen del mismo inconveniente: para incrementar su conductividad, han de incrementarse los grosores del material o la concentración de dopado, lo que a su vez disminuye la transmisión óptica a través de este material debido a un exceso de absorción. La presente invención proporciona un nuevo enfoque que sortea este inconveniente y evita el compromiso entre alta conductividad eléctrica y alta transmisión óptica.

Como se describe a continuación, la presente invención proporciona un sustrato transparente con un material eléctricamente conductor embebido, que simultáneamente consigue alta conductividad eléctrica y alta transmisión óptica. También proporciona métodos sobre cómo puede usarse este sustrato de compuesto en la fabricación de dispositivos electro-ópticos, incluyendo dispositivos fotovoltaicos y emisores de luz. La presente invención proporciona adicionalmente métodos y procesos de fabricación de dicho sustrato, así como de la fabricación de dispositivos electro-ópticos que usen este sustrato.

Los materiales eléctricamente conductores pueden embeberse en un sustrato transparente en la forma de una rejilla y exponerse sobre al menos un lado para proporcionar contactos eléctricos. Los dispositivos electro-ópticos de área grande, tales como los dispositivos fotovoltaicos, pueden depositarse directamente sobre y fijarse a dicho sustrato, estableciendo un contacto eléctrico entre una capa conductora del dispositivo y la rejilla conductora del sustrato. Como resultado, la resistencia de contacto que puede conseguirse puede disminuirse sustancialmente sobre la actualmente conseguida cuando una rejilla de metal delgado se deposita directamente sobre la parte superior de la capa conductora del dispositivo electro-óptico. Puede darse forma a la rejilla conductora de modo que la cantidad de luz que bloquee sea mínima, en algunos casos bloqueando no más luz que cuando se emplea la técnica de deposición de rejilla metálica directa convencional anteriormente mencionada. Adicionalmente, en algunas realizaciones, la forma de sección transversal de la rejilla conductora puede disponerse de modo que no bloquee nada de la luz transmitida.

### Ejemplos

La FIG. 1 muestra una vista en perspectiva de una realización de un sustrato de compuesto 100 en el que un sustrato transparente, eléctricamente aislante 110 tiene un patrón de ranuras 120 que se rellena con un material de baja resistencia eléctrica 130. Puede usarse en este ejemplo cualquiera de una variedad de diferentes materiales conductores: epoxis conductores, tintas de plata, polímeros conductores, metales, incluyendo Cu, Au, Al y otros. La forma de la sección transversal de la rejilla conductora resultante puede coincidir estrechamente con la de las ranuras. El material del sustrato puede ser, por ejemplo, vidrio, tal como vidrio de soda-cal, polímero, tal como poliimida, otros materiales aislantes transparentes cristalinos o amorfos o un material compuesto.

La FIG. 2a es una vista en sección transversal del sustrato de compuesto 100 de la FIG. 1, y la FIG. 2b es una vista

superior o en planta del sustrato de compuesto 100. En esta realización las ranuras 220 tienen una forma de sección transversal rectangular. Más generalmente, sin embargo, la forma de sección transversal de las ranuras 220 puede tener cualquier forma arbitraria, pero preferentemente tienen una forma alargada con una dimensión más larga perpendicular a la superficie superior del sustrato 110. Por ejemplo, las FIGS. 3a y 3b muestran una vista en sección transversal y en planta, respectivamente, de una rejilla conductora embebida 310 formada en ranuras 320 que tienen una forma de sección transversal triangular. Se dan en la FIG. 4 ejemplos de ranuras 320 con diferentes formas de sección transversal, incluyendo triangular (A), trapezoidal (B), redonda o convexa (C) y cóncava (D).

En las realizaciones mostradas en las FIGS. 1-3, las rejillas conductoras 310 tienen patrones rectangulares, tal como se ve en la vista superior de las FIGS. 2b y 3b. Sin embargo, pueden usarse asimismo otros patrones. Por ejemplo, tal como se muestra en la vista superior de las FIGS. 5A-5D, las rejillas 310 pueden disponerse en líneas rectas (A), rejillas triangulares (B), rejillas hexagonales (C) y patrones sinusoidales (D). Naturalmente, pueden usarse asimismo otras disposiciones de rejilla conductora, incluyendo disposiciones no mostradas en el presente documento.

En otra realización, las ranuras en el sustrato transparente pueden tener formas de sección transversal con ángulos entrantes, es decir formas en las que el ancho de la ranura por debajo de la superficie del sustrato en algunos lugares puede exceder el ancho de la ranura en la superficie del sustrato. Ejemplos de dichas ranuras 620 se muestran en las FIGS. 6A-6E. Una ventaja principal de dichas ranuras es que la rejilla conductora se mantiene en su sitio más firmemente y puede incluso no requerir adhesión entre las superficies interiores de las ranuras 620 y los materiales conductores.

En otra realización, mostrada en sección transversal en la FIG. 7, se dispone un sustrato transparente 710 con una rejilla conductora embebida que tiene ranuras regulares 715 sobre y se fija a un dispositivo fotovoltaico 720, que incluye al menos dos capas conductoras 722 y 725, y dos capas de semiconductor 723 y 724 que forman una unión en su interfaz. Típicamente, dicha unión es una unión p-n. Puede haber también un segundo sustrato 721. En esta realización la luz 730 se transmite eficientemente a través del sustrato 710 y es absorbida por el dispositivo fotovoltaico 720, de modo que su energía puede convertirse en corriente eléctrica. El sustrato 710 también realiza el contacto eléctrico con la capa conductora 725, reduciendo de ese modo significativamente la resistencia de contacto en serie del dispositivo fotovoltaico 720. Un ejemplo de un dispositivo fotovoltaico u otro electro-óptico que puede emplearse se forma a partir de dos o más módulos fotovoltaicos o electro-ópticos.

Los materiales conductores transparentes de área grande actualmente disponibles tienen una resistividad en el intervalo de  $0,2 \cdot 10^{-3}$  a  $1 \cdot 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ , lo que para películas con un grosor en el intervalo de 0,5 a 2 micras da como resultado una resistencia de lámina de aproximadamente 5 a 20  $\Omega/\text{cuadrado}$ . Este intervalo de resistencias de lámina se considera frecuentemente un intervalo óptimo, tal como se muestra en la FIG. 21. Realmente, la FIG. 21 muestra que la disminución de la resistencia de un óxido conductor transparente (TCO), por ejemplo incrementando su grosor, dará como resultado pérdidas ópticas incrementadas debido a la absorción. Por otro lado, la disminución adicional de las pérdidas ópticas en un TCO es dificultado por un incremento acompañado en su resistencia eléctrica.

La presente invención permite resolver este conflicto entre las pérdidas ópticas y eléctricas de una película de TCO. Esto se consigue embebiendo una rejilla conductora en el sustrato transparente, rejilla conductora que puede componerse de un metal altamente conductor, polímero o un material compuesto. Por ejemplo, oro, cobre, plata y aluminio tienen resistividades en el intervalo de  $1,6\text{-}2,8 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ cm}$ , lo que son dos órdenes de magnitud inferior a las de cualquier material TCO actualmente disponible. La resistencia de lámina equivalente de la rejilla conductora depende también de su área de sección transversal, que puede variarse sin afectar directamente a las pérdidas ópticas debido a sombreado (sin ninguna absorción óptica adicional debido a la rejilla). Por ejemplo, una rejilla de hilo de cobre rectangular embebido en una ranura de 20  $\mu\text{m}$  por 50  $\mu\text{m}$  y dispuesto sobre un patrón cuadrado con un paso de 1 cm producirá una resistencia de lámina de solo 0,2  $\Omega/\text{cuadrado}$ , es decir dos órdenes de magnitud inferior a la de una película de TCO. Los enfoques actuales que utilizan rejillas metálicas depositadas directamente en la parte superior de unas capas de TCO son demasiado delgados para conseguir la misma baja resistencia y también conducen a pérdidas ópticas excesivas debido a sombreado.

Como se ha mencionado previamente, la rejilla conductora puede formarse en ranuras que tienen una amplia variedad de diferentes formas de sección transversal, incluyendo una forma rectangular tal como se muestra en la FIG. 2a y las otras formas alargadas mostradas en las FIGS. 4 y 6. Se preferirá frecuentemente una forma alargada debido a que minimiza el efecto de sombreado de la rejilla conductora opaca sobre el rendimiento del dispositivo fotovoltaico que se dispone sobre el sustrato. Por ejemplo, para la misma área de sección transversal de la rejilla conductora, una rejilla metálica de 20  $\mu\text{m}$  de ancho oscurecerá y sombreará la mitad del área del dispositivo fotovoltaico subyacente en comparación con una rejilla metálica de 40  $\mu\text{m}$  de ancho.

Por las razones explicadas a continuación una forma de sección transversal particularmente ventajosa para las ranuras formadas en el sustrato es una forma triangular. La FIG. 8 muestra una vista en sección transversal detallada de la realización mostrada en la FIG. 7 en la que se integra un módulo fotovoltaico 720 con un sustrato 710, en donde H es el grosor del sustrato,  $n$  es el índice de refracción del sustrato,  $h$  es la altura de la ranura,  $d$  es el paso de la rejilla conductora y  $2\alpha$  es el ángulo en el vértice de la ranura triangular. La luz 730 puede llegar a la

superficie superior del sustrato en cualquier ángulo; sin embargo, solo pocos rayos de luz interceptarán una ranura 715 a lo largo de su trayectoria. Adicionalmente, la mayor parte de estos rayos se reflejará, de modo que aún pasarán a través del dispositivo fotovoltaico subyacente. Sin embargo, para ángulos de incidencia mayores que un cierto ángulo crítico  $\beta$  los rayos de luz pueden desviarse separándose del módulo fotovoltaico tal como se muestra en la FIG. 8. Suponiendo que  $d \gg h$ , el valor de este ángulo crítico viene dado por

$$\beta = \arcsin\{n \cos(2\alpha)\}. \quad (1)$$

Así, puede demostrarse que para cualquier índice  $n$  dado, puede haber un intervalo de ángulos  $\alpha$ , para los que ninguno de los rayos satisface la Ec. (1) y por lo tanto toda su luz se transmite a través del sustrato y es absorbida por el dispositivo fotovoltaico subyacente:

$$2\alpha < \arccos(1/n). \quad (2)$$

Por ejemplo, para  $n=2$  se puede hallar que  $\alpha$  ha de ser menor de  $30^\circ$  para que todos los rayos de luz se transmitan a través del sustrato. Se hará referencia en el presente documento a las rejillas conductoras que tengan dichas ranuras triangulares u otras ranuras conformadas que transmiten toda la luz a través del sustrato como rejillas conductoras ópticamente no obstructivas o no bloqueantes.

Basándose en el análisis anterior se deduce que rejillas conductoras triangulares alargadas embebidas en un sustrato transparente pueden ser en muchos casos más adecuadas para disminuir simultáneamente las pérdidas eléctricas y ópticas (debido a la resistencia en serie y a las pérdidas de transmisión óptica, respectivamente) en un dispositivo fotovoltaico integrado, tal como en el dispositivo basado en la FIG. 7. Realmente, es teóricamente posible disminuir indefinidamente la resistencia eléctrica de una rejilla conductora no bloqueante sin ninguna penalización en la disminución de la transmisión óptica. Las rejillas no bloqueantes y casi no bloqueantes pueden realizarse usando ranuras que tengan una amplia variedad de formas de sección transversal distintas a las formas de sección transversal triangular, por ejemplo las formas mostradas en la FIG. 4, y las FIGS. 6C, 6D y 6E.

En otra realización de la invención mostrada en la FIG. 9, un dispositivo fotovoltaico multi-capa se compone de tres módulos fotovoltaicos 930, 940 y 950, consistiendo cada módulo en al menos dos capas conductoras, y dos capas de semiconductor que forman una unión en su interfaz. Los módulos están separados y fijados a sustratos eléctricamente aislantes, transparentes con rejillas conductoras embebidas 910 y fijados adicionalmente a un sustrato común 920. Dicho dispositivo fotovoltaico puede comportarse como un dispositivo fotovoltaico multi-unión, si las bandas prohibidas de las diferentes capas de semiconductor absorbentes de la luz respectivas en los módulos difieren entre sí, de modo lo que la banda prohibida del semiconductor del módulo superior sea mayor que la de un módulo inferior. Típicamente, la eficiencia en la conversión de energía de un dispositivo fotovoltaico multi-unión es más alta que la de un dispositivo fotovoltaico de unión simple. Sin embargo, para que ocurra esto la transmisión de luz entre los módulos 930, 940 y 950 ha de ser casi sin pérdidas o al menos preferentemente mayor que el 80-90 %. Aún más, por la misma razón es deseable tener una baja resistencia de contacto para cada uno de los módulos. A diferencia de los enfoques convencionales, cuando los sustratos 910 se construyen de acuerdo con los principios de la presente invención, pueden satisfacerse ambos requisitos en relación con la transmisión óptica y la resistencia.

En otra realización, el dispositivo de la FIG. 9 se modifica de modo que los sustratos 910 y 920 se sustituyen con un conjunto diferente de sustratos 1010, 1011 y 1012 del tipo mostrado en la FIG. 10. En este caso particular los sustratos 1010 y 1012 son ampliamente los mismos que el sustrato 910 previamente descrito, en el que hay una única rejilla conductora embebida dispuesta en un lado del sustrato 910. Los sustratos 1011, sin embargo, tienen dos rejillas conductoras dispuestas en lados opuestos del sustrato 1011. El sustrato 1011 se muestra también en una vista en sección transversal y superior, respectivamente, en la FIG. 11. En esta realización, las rejillas conductoras dispuestas en cada lado del sustrato se usan para disminuir la resistencia de contacto de capas conductoras en módulos vecinos. Mediante la separación de cada módulo en el dispositivo fotovoltaico con dicho sustrato puede reducirse la resistencia de contacto de ambas capas conductoras en cada módulo.

En otra realización mostrada en la FIG. 12 un sustrato aislante, transparente 1210 que tiene una rejilla conductora embebida 1220 se recubre adicionalmente con una capa delgada de un conductor transparente 1230, por ejemplo ITO. Dicho sustrato puede usarse como una capa base en una fabricación posterior de un dispositivo fotovoltaico de película delgada. Esto es, pueden depositarse secuencialmente al menos dos capas de semiconductor y una capa conductora adicional o crearse directamente sobre la parte superior de la capa conductora 1230.

En otra realización mostrada en la FIG. 13 un sustrato aislante, transparente 1310 que tiene una rejilla conductora embebida 1320 se fija de modo híbrido a un módulo fotovoltaico 1340. Puede usarse soldadura o resaltes de epoxi conductor 1330 para adherir el módulo 1340 al sustrato 1310 y para producir buenos contactos eléctricos entre la rejilla conductora 1320 y la capa conductora superior del módulo 1340. La FIG. 13 también muestra la dirección de la luz incidente 1350 que puede usarse para una conversión de energía eficiente por el módulo fotovoltaico 1340.

En otra realización mostrada en sección transversal en la FIG. 14 un sustrato aislante, transparente 1410 tiene una rejilla conductora embebida 1415 con una variedad de formas de sección transversal. En este ejemplo una parte de

la rejilla localizada en cada ranura se extiende por encima de la superficie superior del sustrato.

En otra realización mostrada en la FIG. 15 un sustrato aislante, transparente 1510 tiene una rejilla conductora embebida 1515 con una variedad de formas de sección transversal, una parte de las cuales puede extenderse por encima de la superficie superior del sustrato. Adicionalmente, las partes expuestas del sustrato pueden recubrirse con una delgada capa de un adhesivo transparente 1516.

En otra realización mostrada en la FIG. 16 un sustrato aislante, transparente 1610 tiene una rejilla conductora embebida 1615 con una variedad de formas de sección transversal, una parte de las cuales puede extenderse por encima de la superficie superior del sustrato. Adicionalmente, las partes expuestas del sustrato pueden recubrirse con una delgada capa de un adhesivo transparente 1616. En esta realización el sustrato se perfora de modo que hay múltiples orificios pasantes 1612 que permiten el paso de aire desde un lado del sustrato al otro. En algunas realizaciones estos orificios pueden tener forma cilíndrica, disponerse uniformemente entre los hilos de rejilla y tener un diámetro de aproximadamente 0,05-0,5 mm. Los orificios pasantes pueden servir para facilitar la fijación del sustrato al módulo fotovoltaico, como se explica con más detalle a continuación en conexión con la FIG. 17.

En otra realización mostrada en la FIG. 17, se proporciona un aparato para implementar un método para la fijación de forma híbrida de un sustrato perforado, aislante, transparente 1710 que tiene una rejilla conductora embebida 1711 sobre una capa conductora expuesta 1724 de un módulo fotovoltaico 1720. Pueden disponerse resaltes de soldadura o epoxi conductor 1715 y 1725 sobre la rejilla 1711 y el módulo 1720, respectivamente. El sustrato 1710 puede fijarse entonces al módulo 1720 mediante el uso de un laminador 1730 para aplicar presión, tal como se indica por el número de referencia 1740. El laminador 1730 puede usar también calentamiento local para elevar la temperatura del conjunto sustrato-módulo para o bien refluir los resaltes de soldadura o bien curar el epoxi, uniendo de ese modo el sustrato 1710 al módulo 1720. Este proceso de fijación puede ayudarse con una bomba de vacío 1731, que elimina al aire de la cavidad del laminador. Dado que el sustrato está perforado con orificios pasantes 1712, el aire puede escapar desde debajo del sustrato durante el proceso de fijación, conduciendo así a un contacto muy estrecho y fuerte unión entre las superficies correspondientes.

En otra realización mostrada en la FIG. 18, se proporciona un aparato para implementar un método para la fijación de una forma híbrida de un sustrato perforado, aislante, transparente 1810 que tiene una rejilla conductora embebida 1811 sobre una capa conductora expuesta 1824 de un módulo fotovoltaico 1820. En esta realización puede disponerse una capa de adhesivo transparente adicional 1816 sobre el sustrato 1810. El sustrato 1810 puede fijarse entonces al módulo 1820 usando un laminador 1830 para aplicar presión, tal como se indica por el número de referencia 1840. El laminador 1830 puede usar también calentamiento local para elevar la temperatura del conjunto y activar la capa adhesiva, uniendo de ese modo el sustrato al módulo. Este proceso de fijación puede ayudarse con una bomba de vacío 1831, que elimina al aire de la cavidad del laminador. Los orificios pasantes 1812 en el sustrato 1810 permiten que el aire se escape desde debajo del sustrato 1810 durante el proceso de fijación, conduciendo así a un contacto muy estrecho y fuerte unión entre las superficies correspondientes.

En otra realización mostrada en la FIG. 19, se proporciona un método para la fabricación de un sustrato transparente con una rejilla conductora embebida. Se muestra en sección transversal un sustrato de polímero claro flexible 1910, que puede usarse como un material de partida. El intervalo de grosores para este sustrato puede estar entre 20 micras y 1 mm. Puede producirse un patrón de ranuras 1920 en la parte superior del sustrato 1910 bien mediante grabado fotolitográfico o bien micro-estampado. La forma de la sección transversal de las ranuras es triangular y alargada a lo largo del eje perpendicular a la superficie del sustrato con un ángulo de vértice de menos de 60°. Las ranuras 1920 pueden rellenarse entonces con una tinta de plata de nano-partículas 1930, usando por ejemplo una impresión por inyección de tinta, y curarse, de modo que una parte de la tinta de plata, que define la rejilla conductora, se expone y sobresale desde la superficie superior del sustrato 1910. Adicionalmente puede depositarse una delgada capa (10-50 micras) de adhesivo 1940, tal como etileno-vinilo acetato (EVA), sobre el sustrato 1910 entre los hilos de rejilla individuales, que puede usarse posteriormente para fijar el sustrato a un módulo fotovoltaico.

En otra realización más mostrada en una vista en sección transversal y en planta en las FIGS. 20a y 20b, respectivamente, se emplea un método alternativo para la fabricación de un sustrato transparente con una rejilla conductora embebida. En este caso, puede usarse un sustrato de vidrio claro 2010 con un grosor en el intervalo entre 50 micras y 2,000 mm. Puede producirse entonces un patrón de ranuras rectangulares 2020 en el sustrato 2010, usando por ejemplo, o bien técnicas de moldeo de vidrio o grabado en seco fotolitográfico. Posteriormente, puede colocarse en las ranuras un primer conjunto de hilos metálicos 2030 conformados cilíndricamente, seguido por un segundo conjunto de hilos metálicos 2040 que se orientan en la dirección ortogonal con respecto al primer conjunto de hilos metálicos 2030. El material metálico de los hilos podría ser oro o cobre, y el diámetro del hilo podría estar en el intervalo de 25-100 micras, por ejemplo. El ancho de las ranuras 2020 puede elegirse para que sea aproximadamente igual al diámetro de los hilos y la profundidad de las ranuras 2020 puede elegirse de modo que el conjunto superior de hilos 2040 sobresalga ligeramente por encima de la superficie del sustrato 2010.

En otra realización más, la forma de sección transversal de las ranuras 2020 mostradas en la FIG. 20 puede modificarse de modo que sean similares en forma a las ranuras mostradas en la FIG. 4E de modo que la mayor parte de la luz pueda transmitirse a través del sustrato sin impedimento. Adicionalmente, el ángulo del vértice puede



elegirse de modo que la rejilla conductora resultante sea no bloqueante.

En otra realización más, se añade un adhesivo al interior de las ranuras 2020 mostradas en la FIG. 20 para asegurar los hilos dentro de las ranuras y de ese modo fijarlos al sustrato 2010.

5 En otra realización más mostrada en las FIGS. 22a y 22b los sustratos transparentes A y B, que tienen rejillas reflectoras no bloqueantes, pueden usarse para mejorar la transmisión óptica través de un dispositivo electro-óptico proporcionando una rejilla de metal de patrón coincidente sobre su superficie superior. Cuando uno de dichos sustratos se fija a la superficie superior del dispositivo electro-óptico, su rejilla reflectora no bloqueante reflejará y  
10 redirigirá los rayos de luz fuera de la rejilla metálica, reduciendo de ese modo las pérdidas ópticas. Las rejillas reflectoras no bloqueantes pueden producirse a partir de cualquier material reflector, incluyendo materiales conductores y no excluyendo materiales aislantes y semiconductores. Adicionalmente, el sustrato B en la FIG. 22b puede ser una película de laminado compuesta de al menos dos capas.

15 La FIG. 23 muestra otra realización de un aparato que implementa un método para la fijación de un sustrato de compuesto a un dispositivo electro-óptico. Puede usarse una disposición de recogida y colocación o un sistema de rodillos 2305 para manejar los dispositivos electro-ópticos 2310 en este ejemplo. Puede usarse una herramienta de soldadura 2330 para depositar un patrón o bien de soldadura o bien de resaltes de epoxi conductor 2335 sobre los dispositivos electro-ópticos 2310. Puede usarse un sistema alineador 2340, con la ayuda de un sistema de visión  
20 2350 para alinear el sustrato de compuesto 2320 con el dispositivo electro-óptico 2310. Un elemento de presión puede ejercer entonces el calor y fuerza necesarios para fundir los resaltes 2335 y unir los sustratos 2320 al dispositivo 2310.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de producción de un dispositivo electro-óptico que tiene al menos una capa conductora ópticamente transparente que comprende las etapas de:

- 5 proporcionar un sustrato de compuesto que incluye un sustrato base (710) ópticamente transparente y eléctricamente aislante y una rejilla eléctricamente conductora dispuesta en una pluralidad de ranuras (715) localizada en el sustrato base (710);
- 10 proporcionar un módulo electro-óptico (720) que tiene al menos una capa conductora transparente (722, 725); y fijar dicho sustrato compuesto sobre dicho módulo electro-óptico (720) de modo que se establezca un contacto eléctrico entre dicha rejilla y dicha capa conductora transparente (722, 725) del módulo electro-óptico, caracterizado por que
- 15 dichas ranuras (715) tienen una forma de sección transversal que comprende una pluralidad de lados, dos de los cuales forman un vértice definido por un ángulo menor que  $\cos(l/n)$ , en la que  $n$  es el índice de refracción del sustrato base (710), en el que dicho sustrato de compuesto incluye un material ópticamente reflector que llena dichas ranuras (715) y en el que dichas ranuras (715) tienen una sección transversal triangular.

2. El método de la reivindicación 1 en el que dicho módulo electro-óptico comprende al menos un módulo fotovoltaico (720) que tiene primera y segunda capas conductoras (722, 725) y al menos primera y segunda capas de semiconductor (723, 724) dispuestas entre las capas conductoras, (722, 725), definiendo dichas primera y segunda capas de semiconductor (723, 724) una unión en una interfaz entre ellas, siendo transparentes al menos una de dichas capas conductoras (722, 725).

3. El método de la reivindicación 1 en el que dicho módulo electro-óptico comprende una pluralidad de módulos electro-ópticos (930, 940, 950) teniendo cada uno primera y segunda capas conductoras y al menos primera y segunda capas de semiconductor dispuestas entre las capas conductoras, y una pluralidad de sustratos de compuesto (910) interpuestos en la parte superior de y entre dichos módulos (930, 940, 950).

4. El método de la reivindicación 1 en el que la rejilla conductora (1920) sobresale por encima de la superficie de dicho sustrato del compuesto.

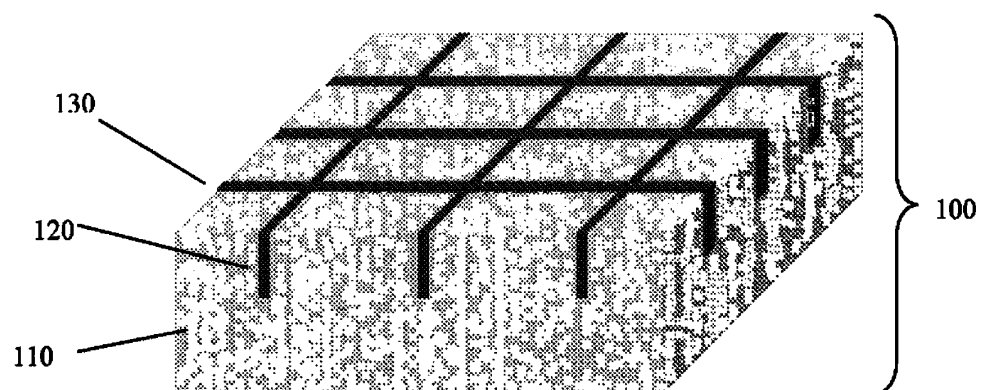
5. El método de la reivindicación 1 en el que la rejilla conductora (1930) comprende una tinta conductora, un polímero conductor, o un metal.

6. El método de la reivindicación 4 que comprende adicionalmente depositar una capa de adhesivo transparente (1940) sobre dicho sustrato de compuesto (1910) entre los hilos de rejilla (1920) individuales.

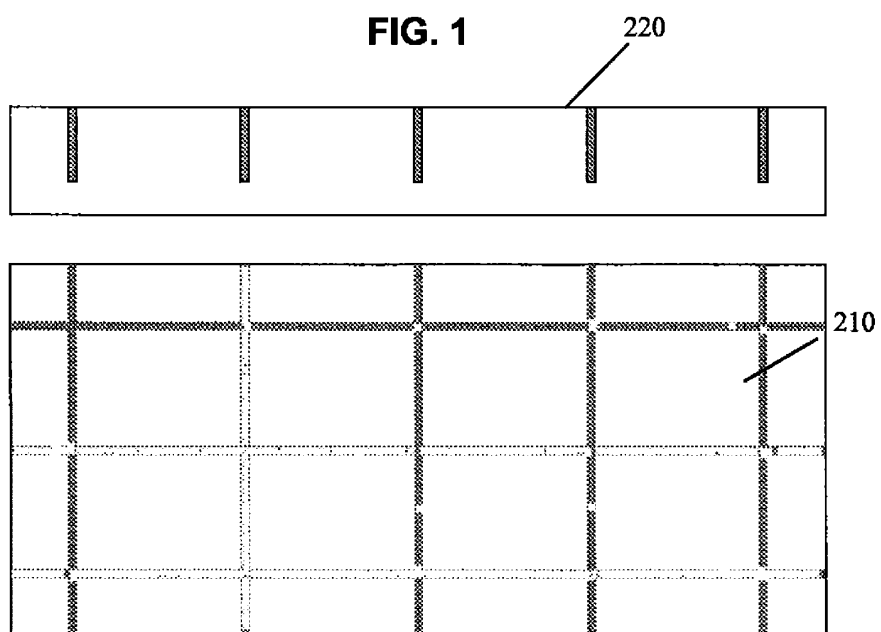
7. El método de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente producir una pluralidad de orificios (1712) a través de dicho sustrato de compuesto.

8. El método de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente depositar una capa conductora transparentemente (1230) para establecer contacto eléctrico con dicha rejilla.

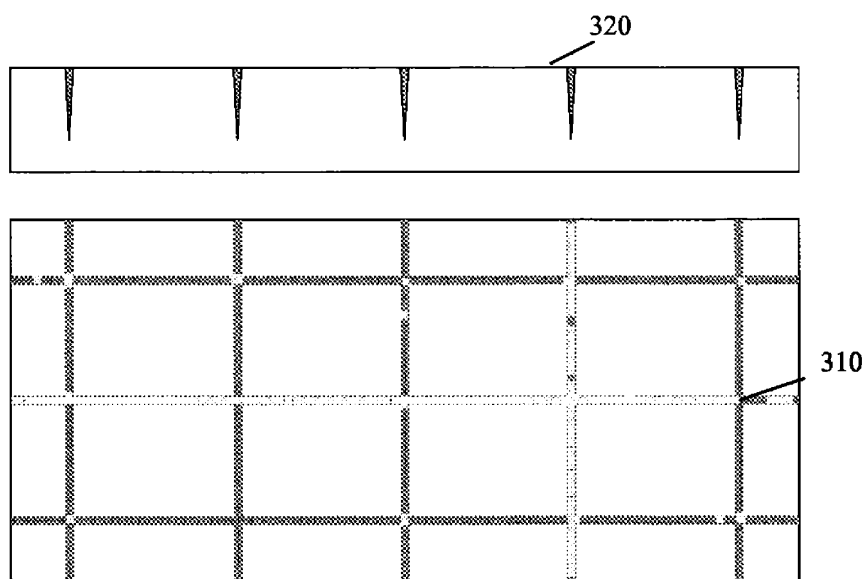
9. El método de la reivindicación 1 en el que dicho sustrato es un sustrato de vidrio (710) o un sustrato de plástico.



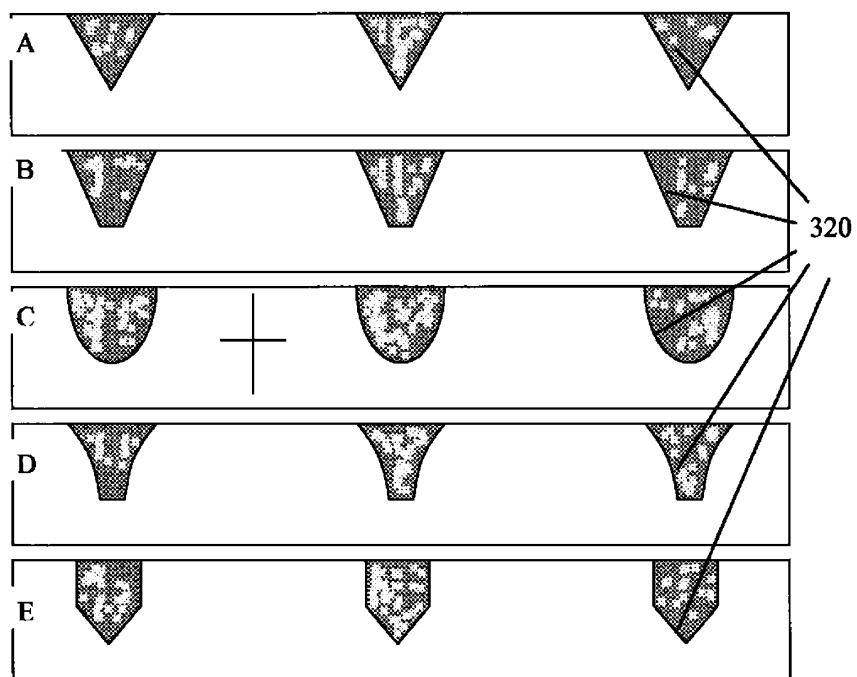
**FIG. 1**



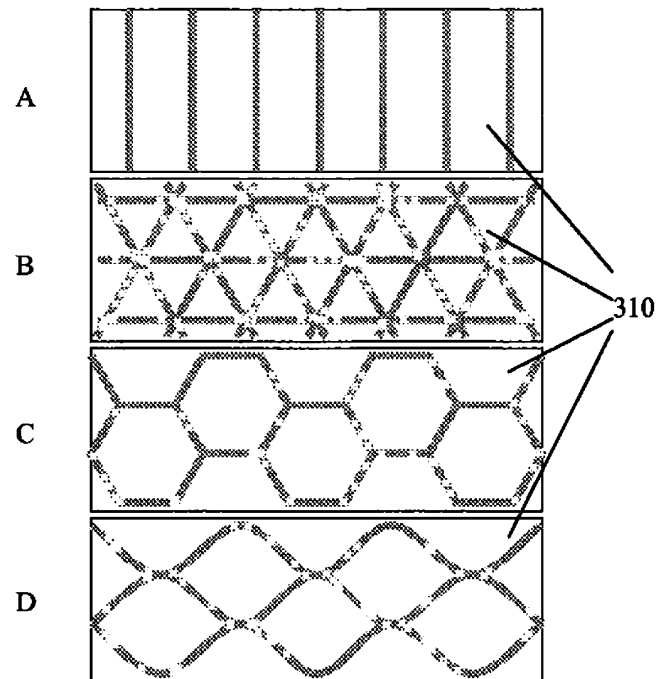
**FIG. 2**



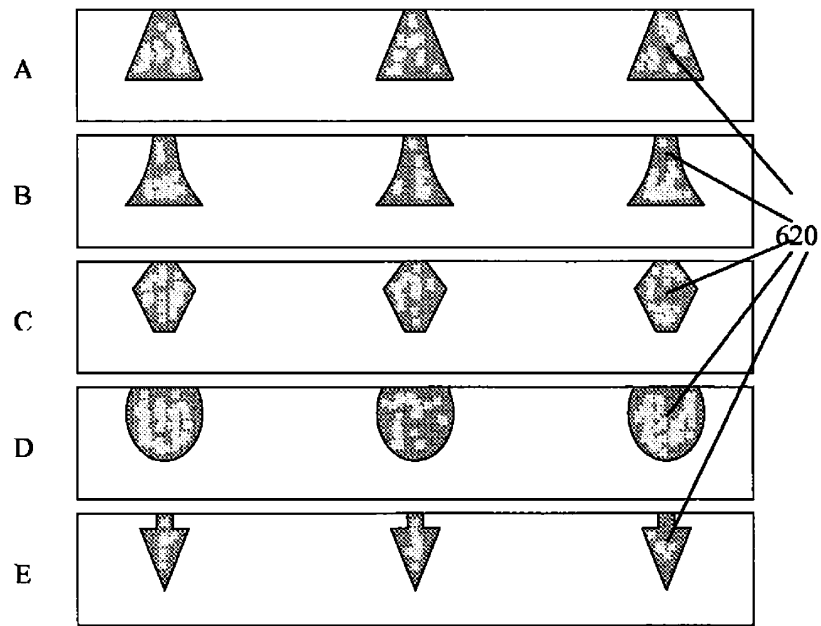
**FIG. 3**



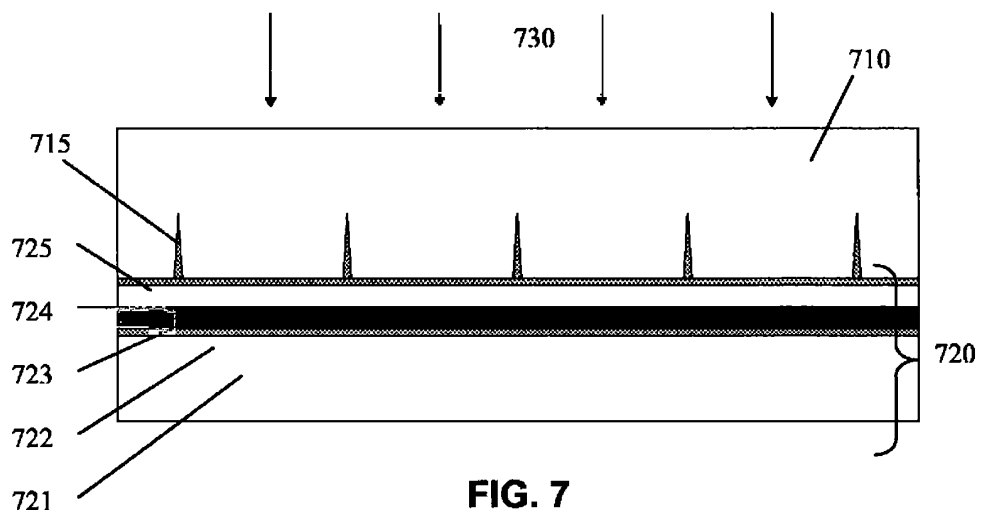
**FIG. 4**



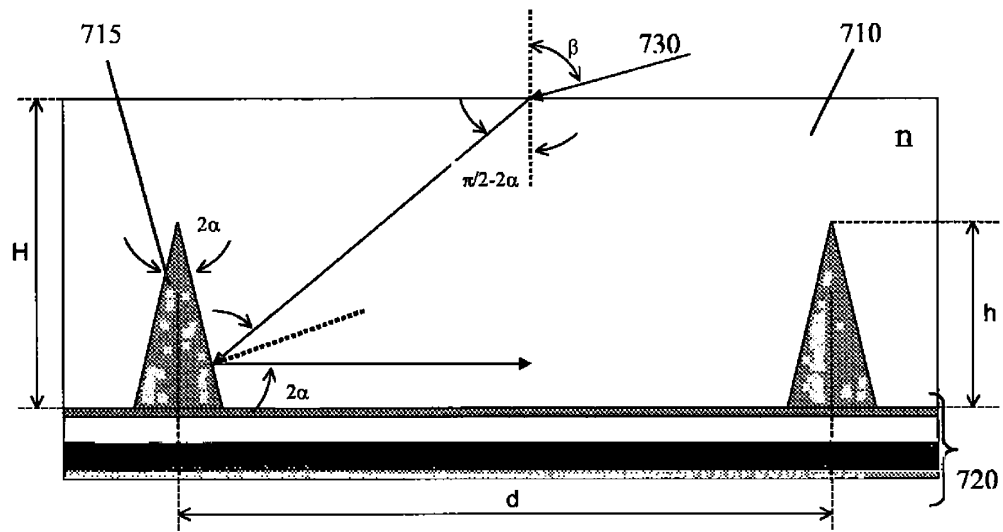
**FIG. 5**



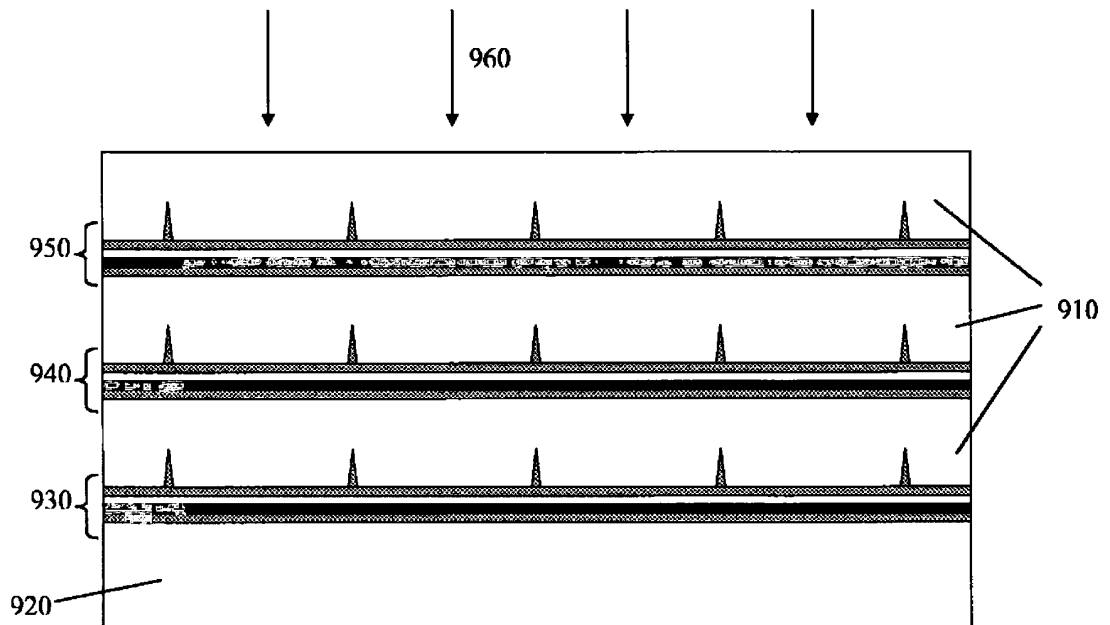
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**

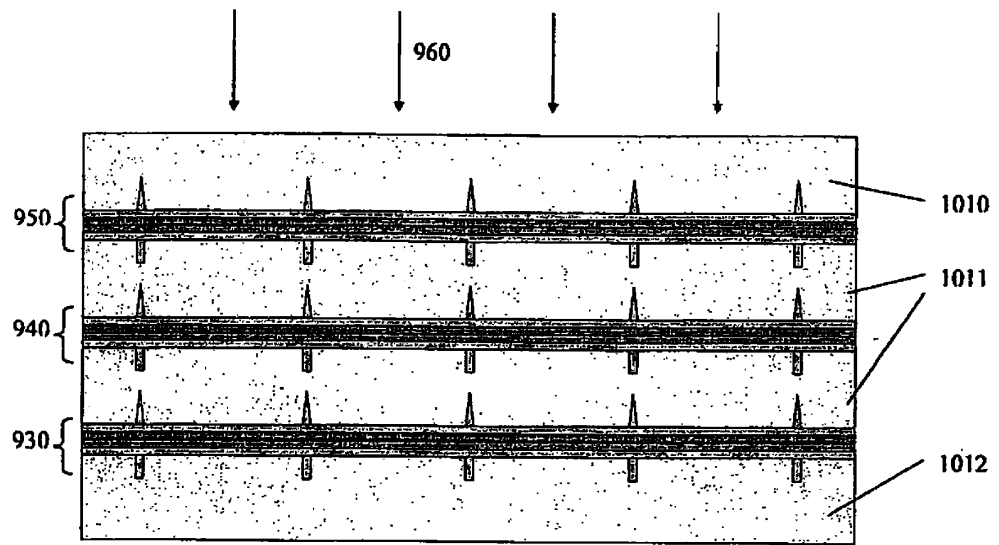


FIG. 10

FIG. 11A

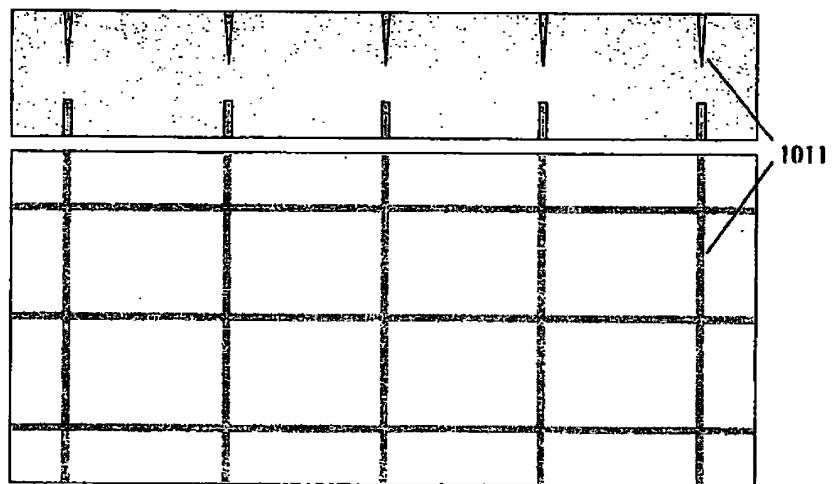


FIG. 11B



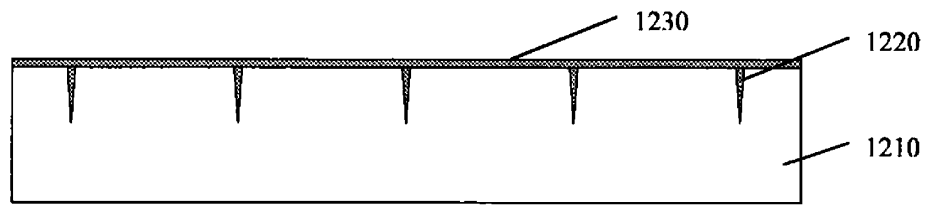


FIG. 12

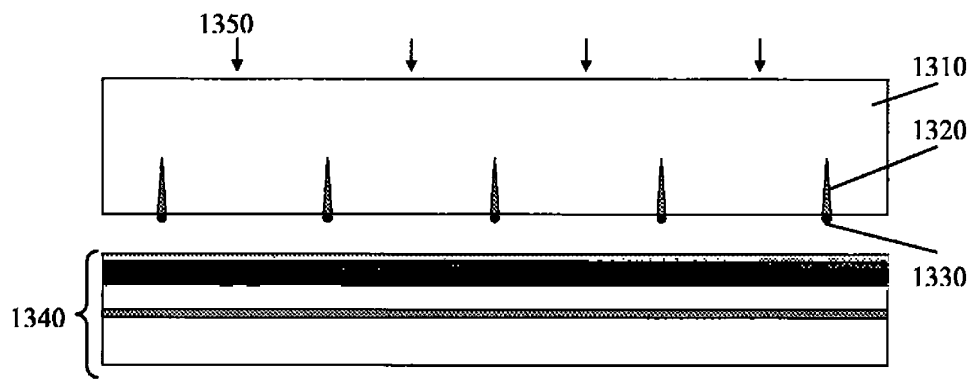


FIG. 13

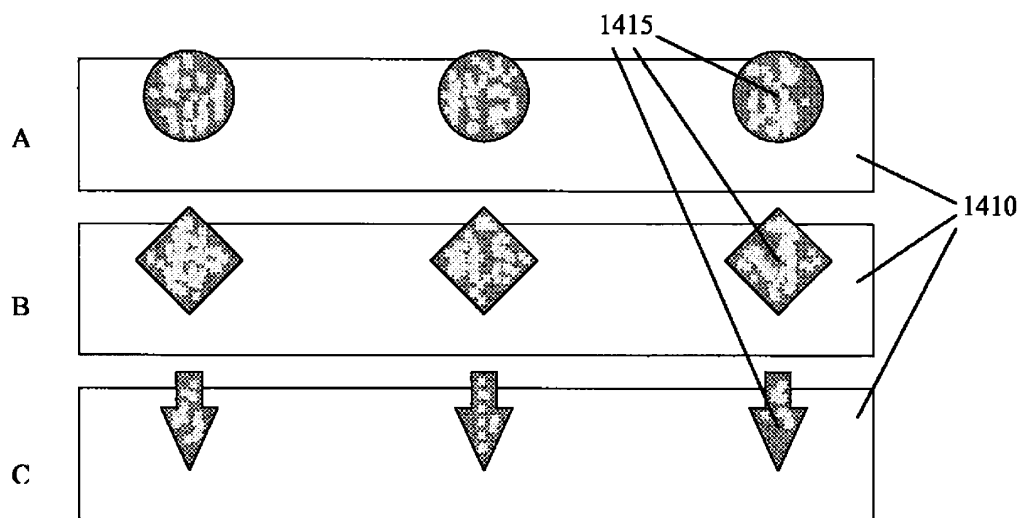
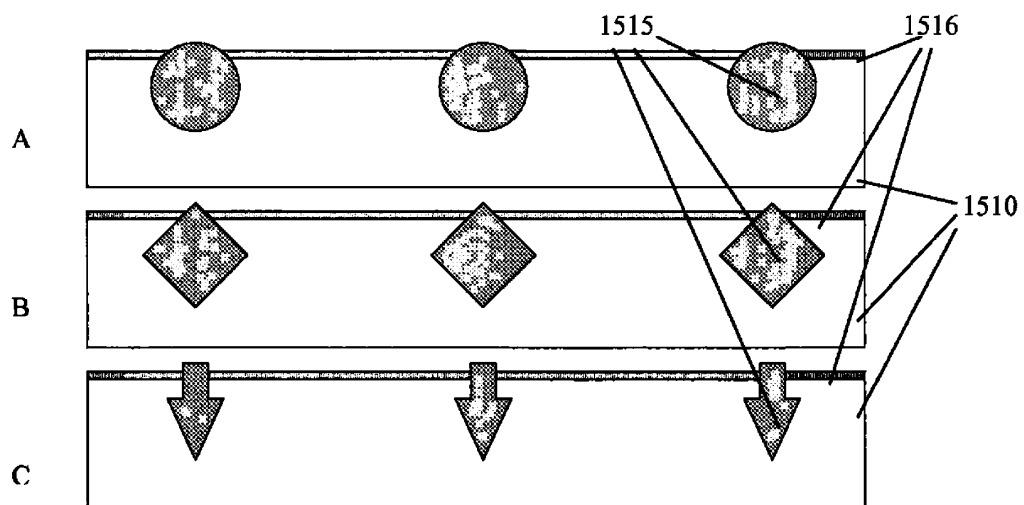
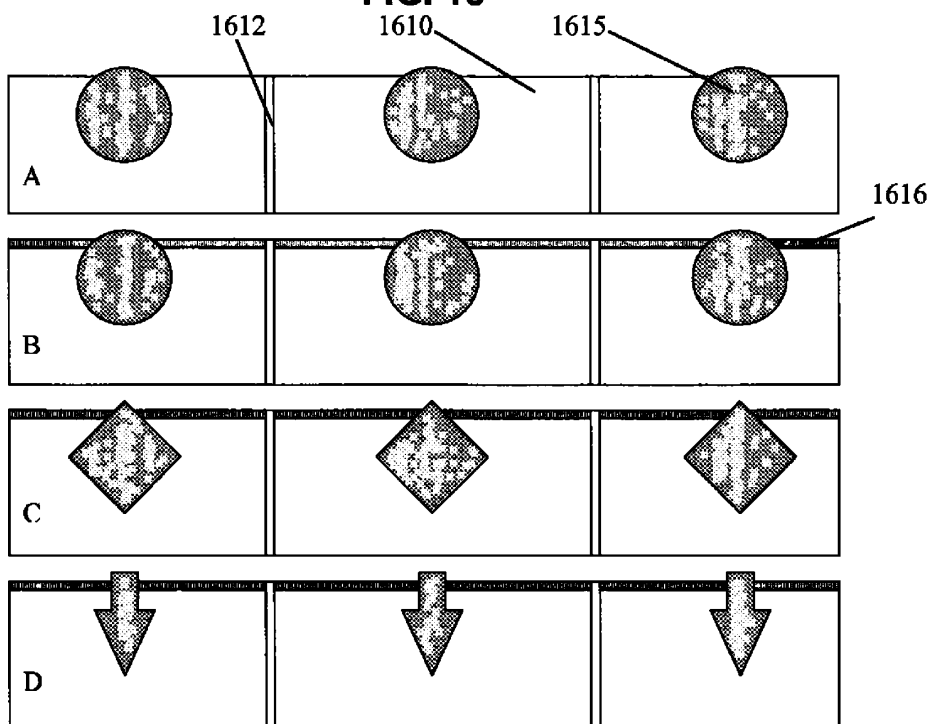


FIG. 14



**FIG. 15**



**FIG. 16**

WO 2009/108800

9/12

PCT/US2009/035322

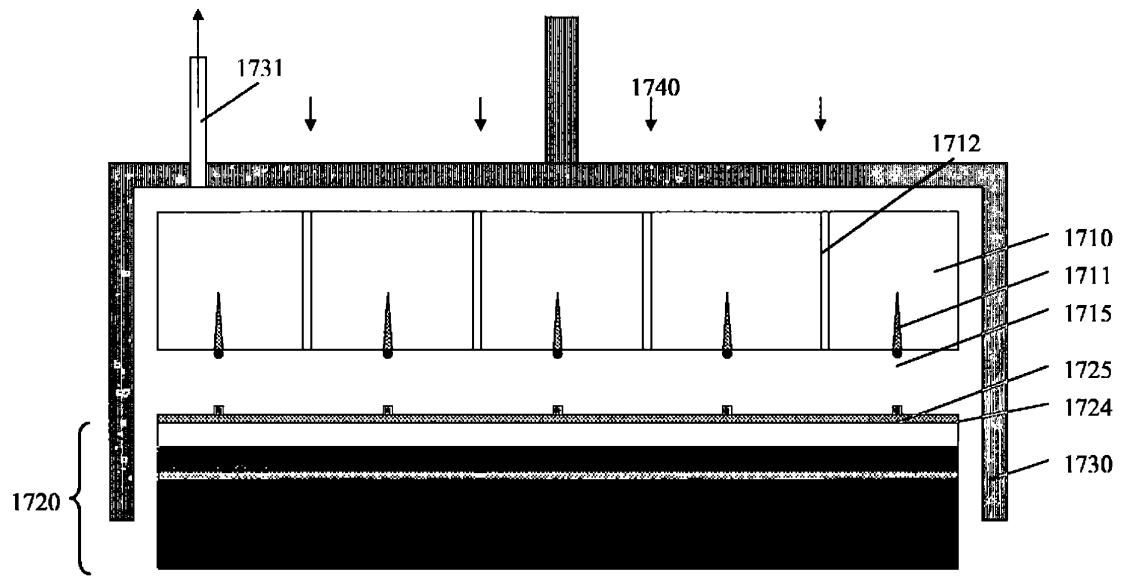


FIG. 17

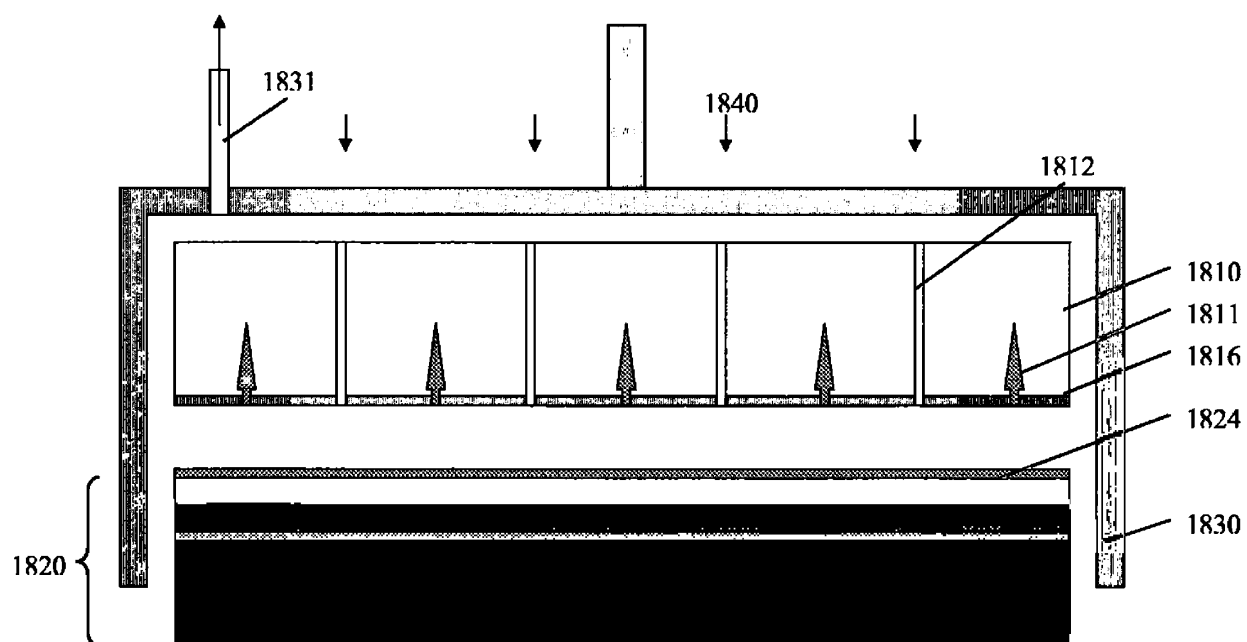


FIG. 18

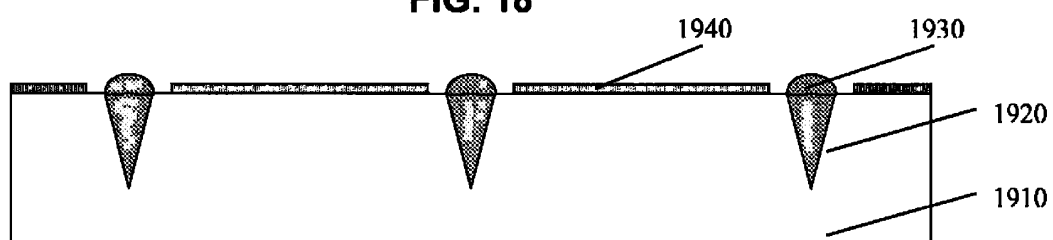


FIG. 19

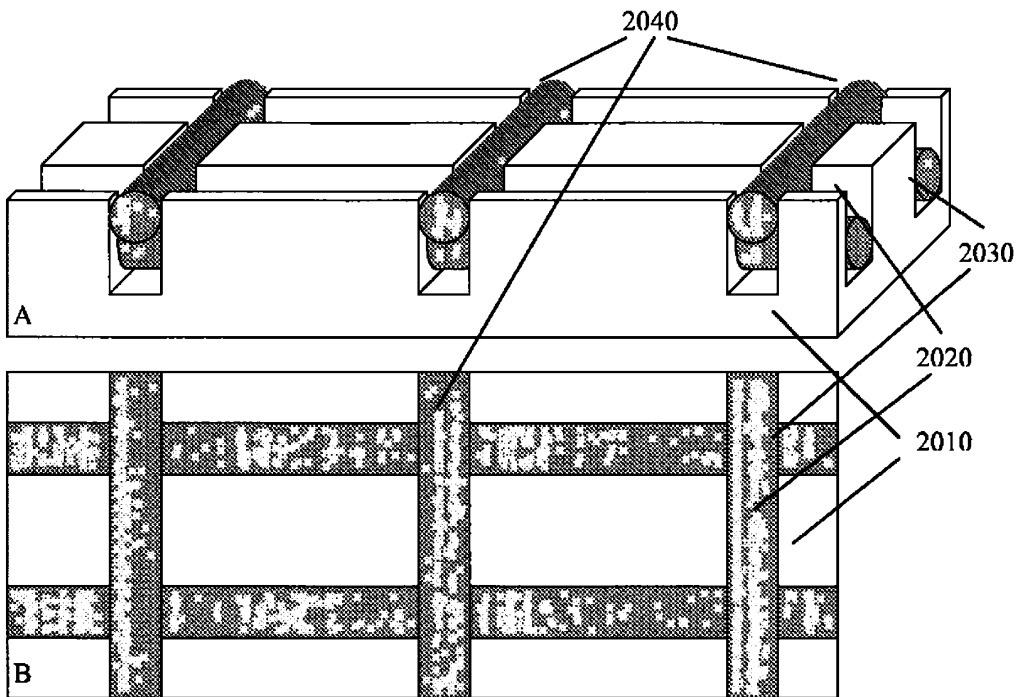


FIG. 20

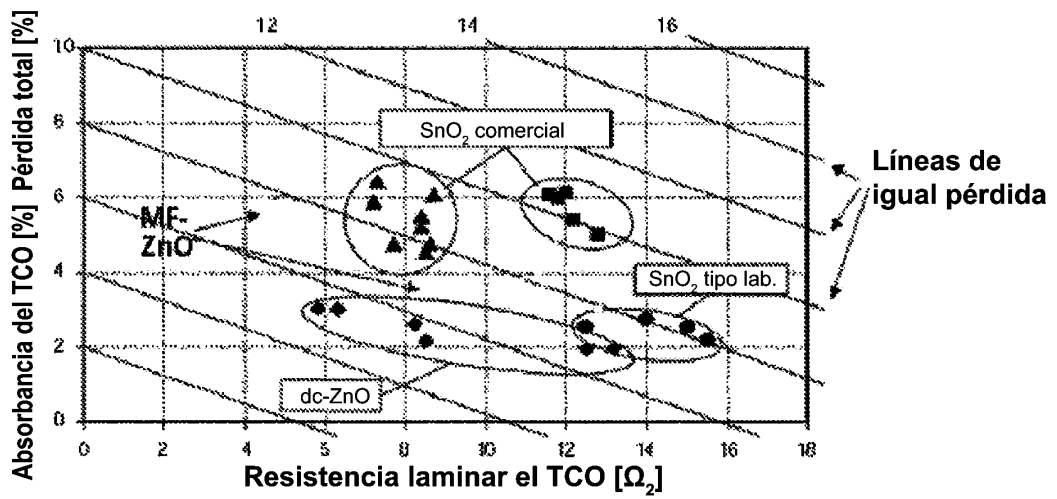


FIG. 21

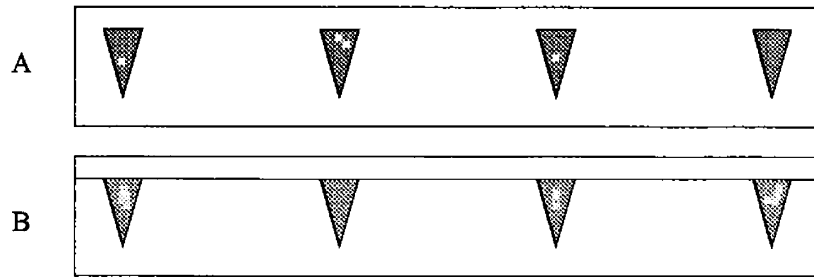


FIG. 22

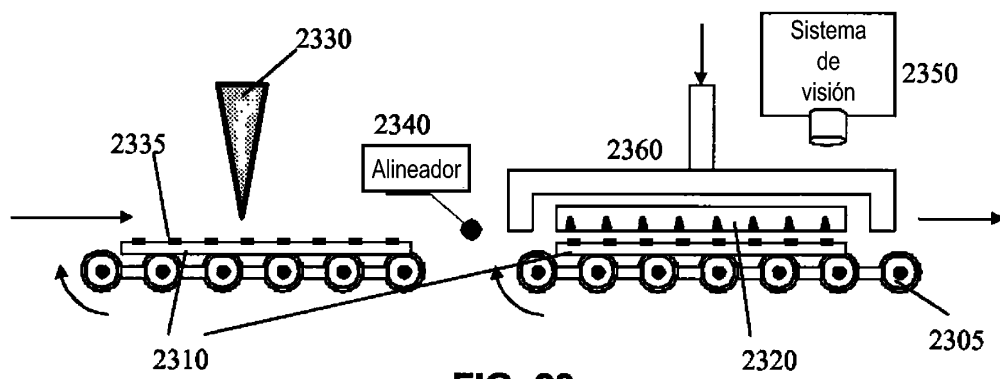


FIG. 23