

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 187**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/042** (2014.01)

**H01L 31/054** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.04.2009 PCT/US2009/040297**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.10.2009 WO09129156**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2009 E 09733533 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2266144**

54 Título: **Conjunto solar multiunión**

30 Prioridad:

**14.04.2008 US 102664**

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

**21.11.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FROLOV, SERGEY;  
CYRUS, MICHAEL y  
BRUCE, ALLAN, JAMES**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

ES 2 643 187 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**

Conjunto solar multiunión

**5 Antecedentes****Campo**

10 La presente invención se refiere a dispositivos fotovoltaicos. De manera más particular, la presente invención se refiere a conjuntos de células fotovoltaicas que han mejorado sustancialmente la capacidad de respuesta y eficiencia espectral óptica, y que pueden fabricarse uniendo y formando una serie de múltiples dispositivos fotovoltaicos diferentes.

**Técnica relacionada**

15 Los dispositivos fotovoltaicos representan una de las mayores fuentes de energía renovable y limpia para el medio ambiente. Se utilizan con frecuencia para convertir la energía óptica en energía eléctrica. Normalmente, un dispositivo fotovoltaico está hecho de al menos un material semiconductor con regiones de dopaje tipo P y de dopaje tipo N, respectivamente. La eficiencia de conversión de la potencia solar en electricidad de este dispositivo está  
20 limitada a un máximo de aproximadamente 37 %, pues la energía fotónica en exceso de la brecha de bandas del semiconductor se gasta como calor. Un dispositivo fotovoltaico con múltiples capas semiconductoras de diferentes brechas de bandas es más eficiente: un dispositivo fotovoltaico con dos brechas de bandas optimizado presenta la máxima eficiencia de conversión solar; un 50 %, mientras que un dispositivo fotovoltaico de tres brechas de bandas presenta la máxima eficiencia de conversión solar; un 56 %. Las eficiencias logradas son normalmente menores que  
25 los valores teóricos en todos los casos.

Los dispositivos multicapa o multiunión se fabrican actualmente como obleas monolíticas, donde cada capa semiconductor crece en vidrio sobre la anterior. Como resultado, las capas semiconductoras están eléctricamente conectadas en serie y su corriente tiene que corresponderse para obtener una máxima eficiencia de conversión.  
30 Este procedimiento de correspondencia de la corriente complica el diseño y disminuye la eficiencia del dispositivo. Esto último se hace especialmente evidente cuando se considera el efecto del filtrado espectral en la eficiencia del dispositivo. Si una parte del espectro solar se absorbe o se dispersa, por ejemplo, mediante vapores de agua, el descenso desproporcionado resultante de la fotocorriente en una de las uniones limitará la corriente por todo el dispositivo, y así, disminuirá su eficiencia de conversión.

35 Además, los dispositivos fotovoltaicos multiunión actualmente fabricados tienen multicapa en serie sobre la parte superior de cada uno, de modo que todas las capas de unión suprayacentes o superiores, incluyendo las capas conductoras y las capas semiconductoras, tienen que ser al menos semitransparentes. El grado de transparencia determina la eficiencia total del dispositivo multiunión; las capas más transparentes producen dispositivos mucho más eficientes. Sin embargo, conseguir una transparencia óptica alta en un material eléctricamente conductor es difícil, y normalmente crea un conflicto entre conseguir una resistividad eléctrica baja y una transparencia óptica alta.

40 A partir del documento US 2008/0041436 A1 se conoce un dispositivo fotovoltaico bifacial para mejorar la conversión de la energía solar en electricidad con una estructura aditiva de capa por capa. El dispositivo conocido comprende un electrodo de núcleo eléctricamente conductor, una pluralidad de capas semiconductoras que cubren una región terminal del electrodo de núcleo, y al menos una parte de las dos caras del electrodo de núcleo.

45 A partir del documento DE 41 41 083 A1 se conoce un dispositivo fotovoltaico que presenta un sustrato que tiene un perfil de dientes de sierra. Las células solares Schottky están dispuestas sobre los lados de los dientes de sierra, configuradas para convertir las partes espectralmente distintas de energía óptica en electricidad.

50 A partir del documento JP 7066442 A se conoce un dispositivo fotovoltaico que está diseñado para utilizar de manera eficaz la luz de longitud de onda larga y corta. El dispositivo conocido incluye una película reflectante selectiva que refleja la luz de longitud de onda corta y transmite la luz de longitud de onda larga. Estas distintas partes de la energía óptica están dirigidas a elementos absorbentes de luz de longitud de onda corta y larga.

55 A partir de la patente estadounidense n.º 4.633.030 se conocen células fotovoltaicas sobre sustratos de vidrio con celosías no correspondientes. La realización mostrada en la figura 7 utiliza espejos divisores del espectro. La luz incidente sobre un espejo divisor del espectro pasa en parte a través de un módulo fotovoltaico subyacente de una célula, y en parte se refleja en un módulo fotovoltaico de una célula adyacente.

**Sumario**

60 De conformidad con la presente invención, se proporciona un dispositivo fotovoltaico según se define en la reivindicación 1. El dispositivo fotovoltaico incluye una pluralidad de células fotovoltaicas dispuestas en un conjunto en el que cada célula es adyacente a otra célula. Cada una de las células incluye primeros y segundos módulos

fotovoltaicos. El primer módulo fotovoltaico de cada célula está configurado para convertir una primera parte de la energía lumínica incidente en el mismo en energía eléctrica, y para reflejar en el segundo módulo fotovoltaico de una célula adyacente al menos cierta cantidad de una parte restante de la energía lumínica incidente en el mismo. El segundo módulo fotovoltaico de cada célula está configurado para convertir en energía eléctrica la parte restante de la energía lumínica recibida desde primer módulo fotovoltaico de una célula adyacente.

De conformidad con la invención, el primer y segundo módulos fotovoltaicos de las células están integrados de manera monolítica.

De conformidad con la invención, la primera parte y la parte restante de la energía lumínica son partes espectralmente diferentes de la energía óptica.

De conformidad con un ejemplo, al menos el 50 % de la parte restante de la energía lumínica puede reflejarse de forma especular en el segundo módulo fotovoltaico de la célula adyacente.

De conformidad con otro ejemplo, al menos el 90% de la parte restante de la energía lumínica puede reflejarse de forma especular en el segundo módulo fotovoltaico de la célula adyacente.

De conformidad con otro aspecto de la invención, puede proporcionarse una pluralidad de terceros módulos fotovoltaicos, estando configurado cada uno de ellos para recibir y convertir en energía eléctrica una parte de cualquier energía lumínica reflejada por uno de los segundos respectivos módulos fotovoltaicos.

De conformidad con la invención, los primeros módulos fotovoltaicos tienen una capa absorbente con una brecha de bandas más grande que una capa absorbente de los segundos módulos fotovoltaicos.

De conformidad con otro aspecto de la invención, los terceros módulos fotovoltaicos pueden tener una capa absorbente con una brecha de bandas que es menor que la brecha de bandas de las capas absorbentes de los primeros y segundos módulos fotovoltaicos.

De conformidad con otro aspecto de la invención, puede colocarse una pluralidad de módulos fotovoltaicos adicionales corriente adelante de la pluralidad de células fotovoltaicas. Cada uno de los módulos adicionales está configurado para recibir y convertir en energía eléctrica una parte de la energía lumínica reflejada por una de las respectivas células fotovoltaicas situadas corriente atrás.

De conformidad con la invención, se proporciona un dispositivo fotovoltaico que incluye un sustrato y un primer módulo fotovoltaico que tiene una primera capa absorbente semiconductor y una primera capa conductora reflectante dispuesta sobre la primera capa absorbente semiconductor. El dispositivo fotovoltaico también incluye un segundo módulo fotovoltaico que tiene una segunda capa absorbente semiconductor. El primer y segundo módulos están configurados para convertir respectivamente la primera y segunda partes de la energía óptica en energía eléctrica. La primera capa conductora reflectante está configurada para reflejar al menos una parte de la segunda parte de la energía óptica.

De conformidad con la invención, el segundo módulo fotovoltaico incluye una segunda capa conductora reflectante dispuesta sobre la segunda capa absorbente.

De conformidad con la invención, la primera y segunda capas conductoras reflectantes están dispuestas entre las primeras y segundas capas absorbentes, respectivamente, y el sustrato.

De conformidad con otro aspecto de la invención, los primeros y segundos módulos pueden tener una configuración que no sea plana.

De conformidad con otro aspecto de la invención, los primeros módulos pueden tener una configuración cilíndrica o parabólica en sección transversal.

En un ejemplo, se proporciona un método para convertir la energía óptica en energía eléctrica. El método comienza recibiendo una primera cantidad de energía óptica desde una fuente de energía y convirtiendo al menos una parte de la primera cantidad de energía óptica en energía eléctrica. Otra parte de la primera cantidad de energía óptica se refleja en una célula fotovoltaica que está corriente adelante. Además, se recibe una segunda cantidad de energía óptica reflejada desde una célula fotovoltaica que está corriente atrás. Al menos una parte de la segunda cantidad de energía óptica se convierte en energía eléctrica.

De conformidad con otro ejemplo, la primera cantidad de energía óptica puede localizarse en longitudes de onda más cortas que las longitudes de onda en las que se localiza la segunda cantidad de energía óptica.

65

**Breve descripción de los dibujos**

- La figura 1 muestra el funcionamiento de un dispositivo fotovoltaico multiunión y multicapa que incluye tres módulos fotovoltaicos.
- 5 La figura 2 muestra una sección transversal a través de uno de los módulos fotovoltaicos ilustrados en la figura 1. La figura 3 muestra una célula solar en tándem compuesta de dos módulos fotovoltaicos integrados. La figura 4 muestra un conjunto de células fotovoltaicas. La figura 5 muestra una sección transversal a través de una realización de una célula fotovoltaica individual integrada monolíticamente.
- 10 La figura 6 muestra otra realización de un conjunto de células fotovoltaicas que emplea las células fotovoltaicas del tipo representado en la figura 5. La figura 7 muestra una sección transversal a través de una realización de una célula fotovoltaica individual que está formada uniendo entre sí dos módulos fotovoltaicos preformados. La figura 8 muestra una sección transversal a través de otro ejemplo de una célula fotovoltaica individual integrada monolíticamente.
- 15 La figura 9 muestra otra realización de un conjunto de células fotovoltaicas construido de conformidad con la presente invención.
- 20 La figura 10 muestra otra realización más de un conjunto de células fotovoltaicas construido de conformidad con la presente invención, que emplea módulos fotovoltaicos adicionales.
- Las figuras 11 y 12 muestran, en una vista en sección transversal y en una vista en perspectiva, respectivamente, realizaciones de un conjunto de células fotovoltaicas que están curvadas o que no son planas en sección transversal.
- 25 La figura 13 muestra una vista en perspectiva de un conjunto de células fotovoltaicas que está asegurado a un bastidor plegable.
- 30 La figura 14 muestra las salidas eléctricas provistas de una realización de un conjunto de células fotovoltaicas construido de conformidad con la presente invención.

**Descripción detallada**

35 **Resumen**

- En la siguiente descripción detallada, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión exhaustiva de las realizaciones a modo de ejemplo o de otros ejemplos descritos en el presente documento. Sin embargo, se entenderá que estas realizaciones y ejemplos pueden llevarse a cabo sin los detalles
- 40 específicos. En otros ejemplos, no se han descrito con detalle los métodos, procedimientos, componentes y circuitos que ya se conocen bien, para así no complicar la descripción de a continuación. Además, las realizaciones divulgadas se presentan únicamente con fines a modo de ejemplo y pueden emplearse otras realizaciones en lugar de, o en combinación con las realizaciones divulgadas.
- 45 Tal y como se ha resumido anteriormente y se describe con mayor detalle más adelante, se proporciona el aparato del dispositivo multifunción de conversión de energía fotovoltaica y el método para fabricar el mismo. Las realizaciones de este aparato pueden facilitar la capacidad de convertir de manera eficiente y económica la energía electromagnética, que está en forma de luz, en energía eléctrica, que está en forma de corriente eléctrica. Las realizaciones de este aparato también pueden facilitar la producción en gran cantidad y el uso extendido de los
- 50 dispositivos fotovoltaicos.
- Los dispositivos multiunión, en general, son un medio más eficiente de convertir la energía solar en electricidad. Sin embargo, la elaboración de estos dispositivos se ve obstaculizada actualmente por la complejidad de los procesos de fabricación de los semiconductores, tales como el crecimiento epitaxial de películas y el alto coste del material.
- 55 Por otro lado, existen tecnologías alternativas, tales como las que se basan en películas finas, donde el procesamiento es sustancialmente menos complejo y costoso. Así, se necesita un nuevo enfoque para implementar el diseño de los dispositivos multiunión utilizando tecnologías fotovoltaicas de bajo coste.
- La presente invención proporciona tal enfoque y un aparato que funciona como tal y consigue los beneficios de una
- 60 célula solar multiunión, y que también puede construirse utilizando enfoques de fabricación de bajo coste. Este aparato es un conjunto de células solares bifaciales, que consiste en al menos dos módulos solares diferentes y en el que se elige que la brecha de bandas absorbente del módulo superior sea mayor que la brecha de bandas absorbente del módulo inferior. Además, las células son altamente reflectantes para la parte de la luz solar absorbida por el absorbente. El conjunto de tales células está construido de tal forma que la luz reflejada desde el módulo superior se dirige hacia y se absorbe en el módulo inferior de una célula adyacente.
- 65

Como se muestra en las figuras 1 y 2, puede producirse un dispositivo 100 fotovoltaico multiunión a partir de dos o más módulos fotovoltaicos, tales como los tres módulos fotovoltaicos 111, 112 y 113, mostrados en las figuras 1 y 2. Cada uno de los módulos fotovoltaicos 111, 112 y 113 incluye al menos dos capas conductoras 220 y 250, y dos capas semiconductoras 230 y 240, que definen una unión en su interfaz, tal y como se muestra en la figura 2.

5 Algunas de las capas de unión también pueden incluir un sustrato 210. Cuando el dispositivo 100 fotovoltaico se ilumina con la luz 101, una de sus capas de unión puede absorber una parte de la luz con energías fotónicas por encima de una brecha de bandas correspondiente, y transmitir una parte de la luz (es decir, la luz 102 y 103) con energías fotónicas por debajo de una brecha de bandas correspondiente. Las uniones en el interior y entre los  
10 módulos pueden disponerse de manera que, las brechas de bandas de las uniones que quedan más bajas sean más pequeñas que las brechas de bandas de las uniones que quedan más altas; esta situación mejora la eficiencia de conversión del dispositivo. Además, estos módulos pueden conectarse eléctricamente en serie entre sí, o pueden aislarse alternativamente entre sí y estar provistos de dos contactos eléctricos 130 individuales, que presentan polaridad opuesta, para producir conectores 140 de corriente eléctrica.

15 Los enfoques actuales del diseño de los dispositivos multiunión suelen derivar en la producción de uniones conectadas en serie. Como resultado, la corriente eléctrica que pasa a través de cada unión ha de ser la misma; esto es una situación denominada "correspondencia de la corriente" y se cumple gracias a la selección cuidadosa de brechas de bandas semiconductoras y de los grosores de las capas dependiendo de una forma predeterminada del espectro de la luz. Esta correspondencia de la corriente complica excesivamente el diseño del dispositivo, reduce su  
20 tolerancia a los fallos y también puede reducir su eficiencia de conversión. Por ejemplo, un fallo en una unión resultará en un fallo de todo el dispositivo. Además, en condiciones medioambientales cambiantes, el espectro de la luz utilizado para la conversión de la energía puede cambiar sustancialmente. Este efecto puede derivar a su vez en cambios de corriente que son diferentes, de forma desproporcionada, en distintas uniones, rompiendo así la situación de correspondencia de corriente y reduciendo la eficiencia de conversión. Por ejemplo, si un aumento en el contenido de humedad de la atmósfera terrestre deriva en una reducción del 50 % de la parte infrarroja de la energía  
25 óptica de la luz solar debido al efecto filtrante óptico, entonces un dispositivo multiunión típico de un solo vidrio, con Ge como material activo de la capa inferior, puede experimentar una reducción total del 50 % en su corriente de salida. En esta situación, la unión más inferior limitará la corriente proporcionada por todo el dispositivo ya que la corriente en la unión o uniones superiores no puede sobrepasar este valor, incluso cuando fuera capaz de hacerlo de otra forma. Como resultado, el factor de relleno de la unión o uniones superiores se reducirá sustancialmente y la eficiencia de conversión total del dispositivo disminuirá. Como ejemplo de una célula solar multiunión, la figura 3 muestra una célula solar en tándem 301 compuesta de dos módulos fotovoltaicos 310 y 320 integrados, teniendo cada uno contactos eléctricos individuales y evitando así la situación de correspondencia de corriente de un diseño de célula en tándem regular.

35 La figura 4 muestra una disposición 400 que comprende un conjunto de series de células fotovoltaicas 430. Las células 430 están separadas espacialmente entre sí, y en este ejemplo, son paralelas entre sí. Cada célula 430 incluye dos (o posiblemente más) módulos fotovoltaicos 410 y 420 de una sola unión. Cada módulo 410 y 420 puede ser del tipo mostrado en la figura 2, excepto en que, en el caso de los módulos 410 y 420, la capa conductora 220  
40 más baja o inferior es reflectante. De esta manera, una parte 402 de la luz 401 solar entrante que no es absorbida por los módulos 410 es reflejada entonces por su conductor inferior, de modo que se redirige a la célula 430 corriente adelante adyacente, donde es absorbida por el módulo 420 de la célula 430 corriente adelante. Así, parte de la energía que porta la luz 401 primero se convierte en electricidad gracias a una multitud de módulos 410 en cada célula 430, y después la energía restante de la luz 402 se convierte en electricidad gracias a una multitud de módulos 420 en la célula 430 corriente adelante adyacente. De esta manera, cada célula 430 (exceptuando la primera y última células 430 del conjunto) convierte la luz recibida desde la fuente de energía (por ejemplo, el sol) así como la luz reflejada por la misma mediante una célula 430 adyacente corriente atrás.

50 En el conjunto mostrado en la figura 4, el módulo 410 y 420 no tiene que ser transparente y formar un tándem para llevar a cabo la conversión de energía fotovoltaica multiunión. En su lugar, los módulos 410 y 420 de cada célula 430 son ópticamente opacos y reflectantes. Además, los módulos 410 y 420 incluyen preferentemente materiales absorbentes semiconductores que tienen diferentes brechas de bandas de energía. Además, también se prefiere que el absorbente de los módulos 410 tenga una brecha de bandas mayor que el absorbente de los módulos 420.

55 Los conjuntos solares del tipo mostrado en la figura 4 pueden utilizarse en plantas solares de áreas amplias, en aplicaciones terrestres, así como a bordo de vehículos espaciales y estaciones orbitales. Este enfoque puede ser particularmente atractivo para la última aplicación, ya que las células pueden fabricarse con sustratos plásticos ligeros utilizando una tecnología de películas finas y conseguir así una potencia específica muy alta, es decir, potencia eléctrica producida por peso unitario. Puede que sean necesarios mecanismos de localización de la fuente de luz solar o de otra fuente para conseguir un rendimiento óptimo.  
60

La figura 5 muestra una realización de la invención, en la que los módulos 410 y 420 de cada célula 430 de la figura 3 están integrados monolíticamente para formar una célula 501 solar bifacial. Tal y como se muestra, la célula 501 solar bifacial incluye un sustrato 510 y dos módulos fotovoltaicos 520 y 530. El módulo 520 superior contiene al menos un material absorbente 522 semiconductor que tiene una brecha de bandas de energía superior que el de al menos un material absorbente 532 semiconductor del módulo 530 inferior. De esta manera, el módulo 520 superior  
65

absorberá una luz de longitud de onda más corta que la luz absorbida por el módulo 530 inferior. El módulo 520 superior también incluye capas conductoras 521 y 523. La capa conductora 521 es transparente, mientras que la capa conductora 523 es reflectante (o contiene una subcapa reflectante). Así mismo, el módulo 530 también contiene capas conductoras 531 y 533. La capa conductora 533 es transparente, mientras que la capa conductora 531 es reflectante (o contiene una subcapa reflectante)

La figura 6 muestra además otra realización de esta invención, en la que se proporciona una disposición o conjunto 600 de células 501 bifaciales. Esta disposición 600 funciona de una manera similar a la disposición 400 ilustrada en la figura 4, exceptuando que se emplean las células 501 bifaciales en lugar de las células 430, que están formadas a partir de módulos 410 y 420 individuales. Las células 501 están en ángulo y situadas la una con respecto a la otra y con respecto al haz de luz solar 601, de modo que una parte de la luz 602 que no es absorbida en el módulo superior de una célula 501 se refleja y absorbe en el módulo inferior de una célula 501 adyacente. Tal conjunto funciona de manera similar a un conjunto de dos células 301 en tándem de dos uniones, consiguiendo así todas las ventajas de un dispositivo fotovoltaico multiunión. Sin embargo, la disposición 600 proporciona beneficios adicionales porque es mucho más simple de fabricar una célula 501 bifacial, en comparación con una célula 301 en tándem. Ya que no se imponen requisitos adicionales en los módulos 520 y 530 de una célula 501 bifacial, cada módulo puede optimizarse y fabricarse para conseguir el mejor rendimiento posible. Por otro lado, una célula 301 en tándem requiere al menos que uno de sus módulos integrantes sea transparente (por ejemplo, el módulo 310), lo que normalmente complica su fabricación y reduce su eficiencia. Además, el grosor de las capas absorbentes de cada módulo puede reducirse significativamente, puesto que la luz se refleja en cada módulo y pasa así a través de cada capa absorbente dos veces. Esta reducción de la cantidad de material absorbente y relativamente caro de la célula solar, disminuye de manera muy efectiva los costes de fabricación de un conjunto 600 multiunión, y compensa de más el área de célula solar adicional que se requiere debido a la orientación inclinada de las células 501 con respecto a la energía óptica entrante.

En algunas realizaciones, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 6 puede modificarse para incluir además un bastidor y un mecanismo de localización de la luz, que permitiría la recolocación del conjunto 600 para orientarlo angularmente mejor con respecto a la fuente de luz, por ejemplo, el sol.

En ciertas realizaciones, los materiales absorbentes de la célula 501 bifacial contienen materiales semiconductores policristalinos activos basados, por ejemplo, en un sistema de materiales CIGS (cobre, indio, galio y selenio) o en una aleación relacionada, y las uniones correspondientes se producen utilizando diseños de una sola unión conocidos en la técnica. Variando las concentraciones relativas de In y Ga, las brechas de bandas en las capas absorbentes 522 y 521 pueden ajustarse hasta aproximadamente 1,6 eV y aproximadamente 1,1 eV, respectivamente. Los grosores de cada capa pueden encontrarse en el intervalo de 0,5 a 10 micrómetros, pero preferentemente en el intervalo de 1 a 2 micrómetros.

En algunas realizaciones, las capas conductoras 521 y 533 pueden formarse a partir de finas capas de ITO o ZnO, con un grosor en el intervalo de 0,1 a 5 micrómetros. Las capas conductoras 523 y 531 reflectantes pueden formarse a partir de uno o más metales que sirven como reflectores ópticos de banda ancha que reflejan la luz de manera especular. En algunos casos, las capas conductoras reflectantes reflejarán preferentemente más del 50 % de la luz incidente, y más preferentemente más del 90 % de la luz incidente. Los metales ilustrativos que pueden utilizarse incluyen Mo, W, Au, Al o Ta, así como combinaciones de los mismos. En ciertas realizaciones, las capas metálicas pueden tener un grosor que se encuentre en el intervalo de 0,01 a 1 micrómetros. Además, los módulos 520 y 530 también pueden contener capas de tampón adicionales, tales como, por ejemplo, una fina capa de CdSe con un grosor en el intervalo de 10 a 1000 nm.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 5 puede modificarse para que el material semiconductor activo utilizado en la producción de una o más capas de unión sea un material distinto de un material basado en CIGS. Este material puede ser, por ejemplo, CdTe. En otra versión de esta realización, este material puede ser un material de polímero semiconductor, tal como, por ejemplo, poli-fenileno-vinileno y sus derivados. Puede elegirse una variedad de otros materiales semiconductores anteriormente mencionados y conocidos sin desviarse del alcance de la invención. Estos incluyen silicio amorfo y nanocristalino, aleaciones de silicio y germanio, y germanio, que pueden depositarse en forma de fina película. Varios materiales semiconductores del compuesto III-V también son adecuados, tales como por ejemplo GaAs, GaInP y otros.

En algunas realizaciones, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 5 puede modificarse para garantizar que todas las capas del dispositivo sean ópticamente uniformes y produzcan una dispersión insignificante de la luz y un buen reflejo especular.

En otra realización más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 5 puede modificarse para incluir finas capas conductoras de oro, que simultáneamente proporcionan una conducción eléctrica excelente y una alta reflexividad óptica por un amplio intervalo espectral. De forma similar, puede utilizarse una fina capa de plata con el mismo fin.

Algunos otros ejemplos están relacionados con un método para producir una célula fotovoltaica 701 multiunión bifacial, tal y como se muestra en la figura 7, por ejemplo, conectando entre sí dos módulos fotovoltaicos 710 y 720 de una sola unión. Los módulos 710 y 720 pueden tener cada uno sus propios sustratos individuales, que pueden conectarse entre sí para que los dos sustratos estén en contacto directo entre sí. La conexión podría producirse mediante varios métodos, incluyendo, pero no limitándose a encolado, laminación, adherencia, soldadura y soldadura blanda.

Algunos otros ejemplos están relacionados con un método para producir una célula fotovoltaica 801 multiunión bifacial, tal y como se muestra en la figura 8, por ejemplo, mediante la colocación conjunta de dos módulos fotovoltaicos 810 y 820 de una sola unión sobre el mismo sustrato portador 805 transparente. Los módulos 810 y 820 pueden conectarse eléctricamente en serie o, alternativamente, pueden aislarse eléctricamente el uno del otro, por ejemplo, mediante una capa aislante 815. La capa 815 también puede ser ópticamente opaca.

En otros modos de realización adicionales, tal y como se muestra en la figura 9, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 6 puede modificarse para que incluya además un conjunto 900 adicional de células 901 bifaciales, consistiendo cada una principalmente en un módulo 910 superior y en un módulo 920 inferior, En este caso, una parte de la luz 903 reflejada desde el módulo 530 de las células 501 puede ser absorbida por los módulos 910, y la parte de la luz 904 reflejada restante puede ser absorbida después por los módulos 920. La brecha de bandas absorbente del módulo 910 es preferentemente más pequeña que las de los módulos 520 y 530. Además, la brecha de bandas absorbente del módulo 920 es preferentemente más pequeña que la del módulo 910. La funcionalidad de tal aparato es análoga a la funcionalidad de un dispositivo fotovoltaico de cuatro uniones,

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en las figuras 6 y 9 puede generalizarse para que incluya además cualquier número "N" de conjuntos adicionales, colocados de forma similar, de células bifaciales, cada uno de ellos interceptando, absorbiendo y convirtiendo en energía eléctrica partes de la luz que no se han absorbido y que se han reflejado en los conjuntos previos. La funcionalidad de tal aparato es análoga a la funcionalidad de un dispositivo fotovoltaico multiunión con 2N uniones.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 6 puede modificarse para que incluya además un conjunto 1000 adicional de células 1001, que consiste principalmente en un módulo 1010 superior, tal y como se muestra en la figura 10. La brecha de bandas absorbente del módulo 1010 es preferentemente más pequeña que las de los módulos 520 y 530 de las células 501. La luz reflejada por las células 501 puede ser absorbida por el módulo 1010.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 6 puede modificarse para que incluya un conjunto 1100 de células 1110 bifaciales curvadas, tal y como se muestra en la figura 10, consistiendo cada una en un módulo 1120 superior y en un módulo 1130 inferior. Esta disposición puede proporcionar una mejor eficiencia en la recogida de luz y una mayor tolerancia angular a la orientación del conjunto con respecto al haz de luz 1101. La luz 1102 reflejada fuera del módulo 1120 puede enfocarse sobre el módulo 1130 adyacente, de modo que el punto del haz producido por la luz 1102 puede sustancialmente solapar el área del módulo 1130 en varios ángulos entre el conjunto 1100 y el haz de luz 1101. La forma de la curvatura producida por las células 1110 puede representarse por una forma parabólica bidimensional, tal como una cuba.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 11 puede modificarse para que las formas de las células 1110 sean cilíndricas en al menos una dimensión, tal y como se muestra en la figura 12.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 6 puede modificarse para que incluya además un bastidor plegable 1350, tal y como se muestra en la figura 13. El bastidor 1350 puede permitir plegar un conjunto (por ejemplo, para su almacenamiento y transporte), recolocando las células bifaciales la una con respecto a la otra (por ejemplo, para mejorar la eficiencia de recogida de la luz), moviendo un conjunto de células como una unidad para orientarlo mejor con respecto a la fuente de luz, y otras funciones mecánicas.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 6 puede modificarse para que incluya además cuatro salidas 1410 eléctricas individuales para cada célula 1401 en el conjunto 1400 mostrado en la figura 14. Las cuatro salidas 1410 eléctricas representan dos pares de conexiones eléctricas para los dos módulos integrantes de la célula 1401 bifacial. Las salidas 1410 pueden conectarse además a al menos un bus en común, pero preferentemente a cuatro buses 1420 en común diferentes, tal y como se muestra en la figura 14.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que dos salidas eléctricas puedan cortocircuitar o conectarse a tierra sin perder la funcionalidad del dispositivo.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que al menos un par de contactos eléctricos de un módulo esté conectado a un sistema eléctrico individual, lo que mejora la eficiencia de conversión de toda la película fotovoltaica.

En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que al menos un par de contacto eléctrico de un módulo esté conectado a un sistema eléctrico individual, lo que mejora la eficiencia de conversión de toda la película fotovoltaica.

5 En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que el par de contacto eléctrico de las capas de unión correspondientes esté conectado a un convertor de voltaje de CC a CC.

10 En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que el par de contacto eléctrico de las capas de unión correspondientes esté conectado a un convertor de voltaje de CC a CA.

15 En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que el par de contacto eléctrico de las capas de unión correspondientes esté conectado a un convertor de voltaje. Cada convertor de voltaje puede convertir un diferente voltaje de unión a un voltaje común. De esta manera, todas las capas de unión pueden conectarse en paralelo sin perder la funcionalidad, proporcionando así solo dos terminales de salida.

20 En otra realización más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que al menos uno de los módulos esté subdividido en diferentes secciones y esté eléctricamente conectado en serie para proporcionar un voltaje de salida mayor.

25 En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que cada uno de los dos módulos esté subdividido en diferentes secciones y esté eléctricamente conectado en serie para proporcionar un voltaje de salida mayor. Además, en algunas realizaciones, el número de secciones de cada módulo puede seleccionarse para que proporcione sustancialmente el mismo voltaje de salida. Como resultado de tal correspondencia de voltaje, las salidas eléctricas de los dos módulos pueden conectarse en paralelo, proporcionando así dos terminales eléctricos de salida y simplificando las interconexiones eléctricas sin limitar el rendimiento del dispositivo.

30 En otras realizaciones más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en la figura 14 puede modificarse para que cada uno o alguno de los dos módulos incluya uno o varios diodos de derivación, para así proteger eléctricamente los módulos o secciones subdivididas de los mismos frente a grandes corrientes, ya sea en polarización directa o inversa.

35 En otros ejemplos más, el aparato descrito anteriormente y mostrado en las figuras 4-14 puede modificarse para que algunos módulos incluyan capas dieléctricas adicionales, que puedan reflejar selectivamente varias partes de la energía óptica incidente. Por ejemplo, en algunas realizaciones, puede depositarse una capa óptica filtrante de gran paso y altamente reflectante sobre los módulos superiores (por ejemplo, los módulos 410 de la figura 4), para así proporcionar un mejor reflejo de la luz a baja energía fotónica (por ejemplo, la luz 402). Además, en algunas otras realizaciones, esta capa reflectante puede reflejar una parte (preferentemente, una pequeña parte) de la luz con fotones de energía elevados, para así proporcionar una impregnación de la luz eficaz en los módulos inferiores (por ejemplo, en los módulos 420). De manera alternativa, esta capa puede optimizarse para proporcionar un reflejo óptico muy bajo (preferentemente, menos del 2 %) en la región espectral de interés, por ejemplo, el intervalo visible.

45 Son posibles las variaciones del aparato descrito anteriormente sin desviarse del alcance de la invención.



**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo fotovoltaico, que comprende una pluralidad de células fotovoltaicas, incluyendo cada una de las células:

- 5 un sustrato;  
un primer módulo fotovoltaico que tiene una primera capa absorbente semiconductor y una primera capa conductora reflectante dispuesta sobre la primera capa absorbente semiconductor y entre la primera capa absorbente y el sustrato;
- 10 un segundo módulo fotovoltaico que tiene una segunda capa absorbente semiconductor y una segunda capa conductora reflectante dispuesta sobre la segunda capa absorbente semiconductor y entre la segunda capa absorbente y el sustrato;

15 en el que dichos primeros y segundos módulos están integrados monolíticamente para formar una célula solar bifacial, caracterizado por que

- el primer módulo fotovoltaico tiene una capa absorbente con una brecha de bandas más grande que una capa absorbente del segundo módulo fotovoltaico;
- 20 dichos primeros y segundos módulos están configurados para convertir respectivamente la primera y segunda partes espectralmente distintas de la energía óptica en energía eléctrica, estando dicha primera capa conductora reflectante configurada para reflejar al menos una parte de la segunda parte de la energía óptica;

25 en el que la pluralidad de células fotovoltaicas está dispuesta en un conjunto en el que cada célula es adyacente a otra célula y las células fotovoltaicas están en ángulo y situadas la una con respecto a la otra y un haz de luz solar, de modo que una parte de la luz que no se absorbe en un primer módulo de una célula se refleja y absorbe en un segundo módulo de una célula adyacente.

30 2. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1 en el que el primer y segundo módulos tienen una configuración que no es plana.

3. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 2 en el que el primer y segundo módulos tienen una configuración cilíndrica o parabólica en sección transversal.

35 4. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1 que además comprende una pluralidad de terceros módulos fotovoltaicos, estando cada uno configurado para recibir y convertir en energía eléctrica una parte de cualquier energía lumínica reflejada por un módulo respectivo de los segundos módulos fotovoltaicos.

40 5. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 4 en el que los terceros módulos fotovoltaicos tienen una capa absorbente con una brecha de bandas que es menor que la brecha de bandas de las capas absorbentes de los primeros y segundos módulos fotovoltaicos.

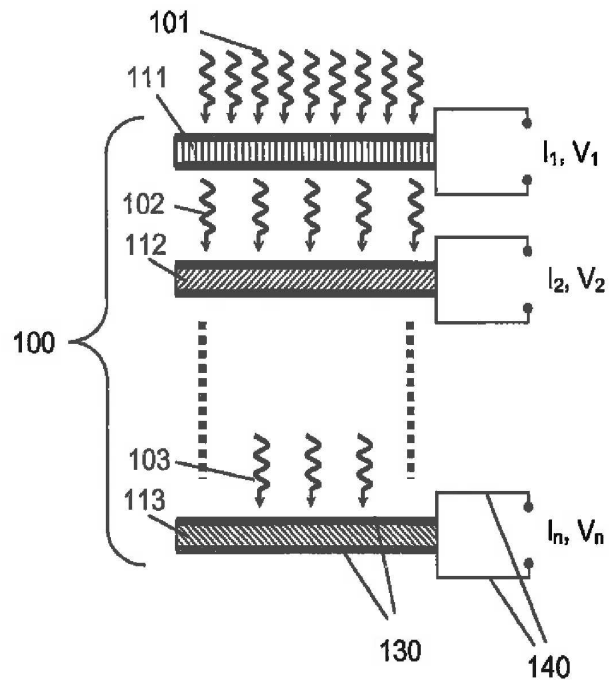


FIG. 1

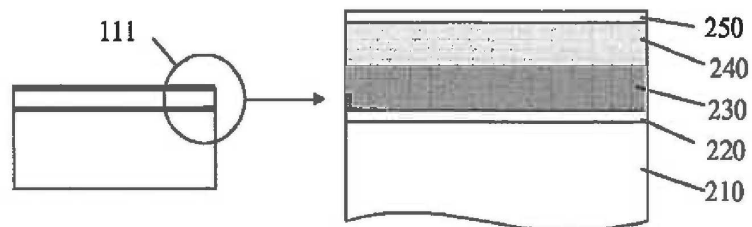


FIG. 2

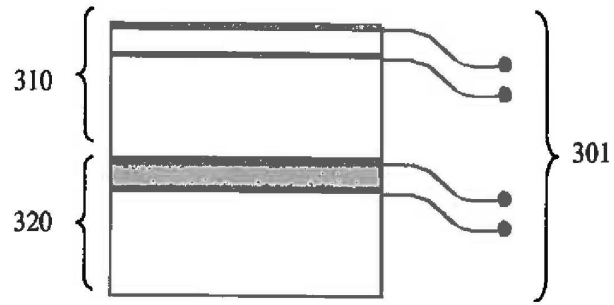


FIG. 3

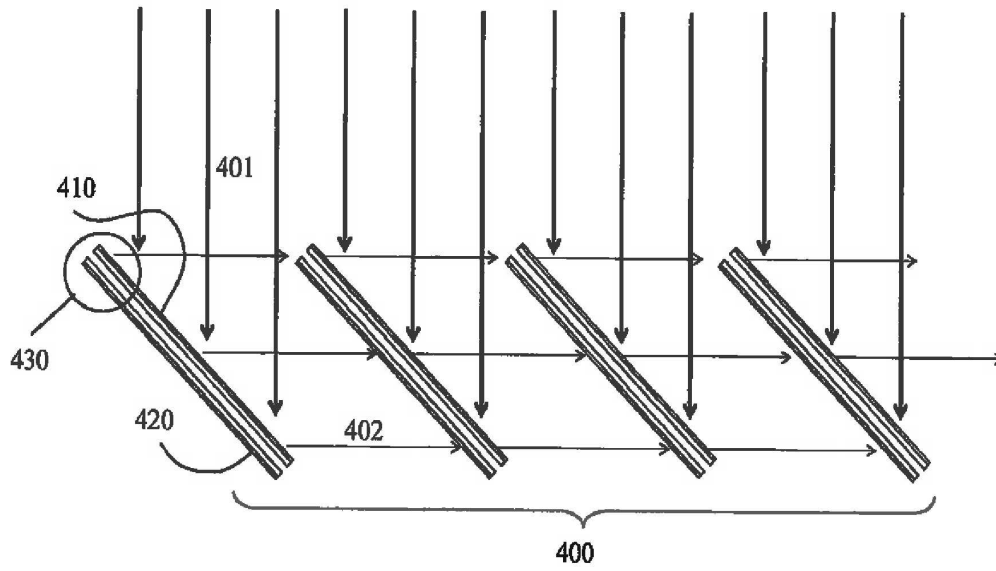


FIG. 4

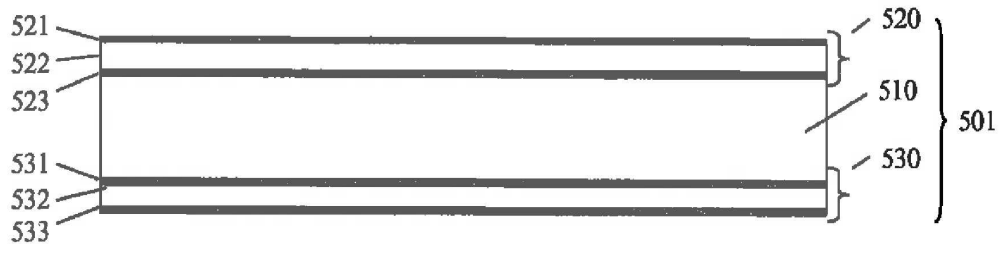


FIG. 5

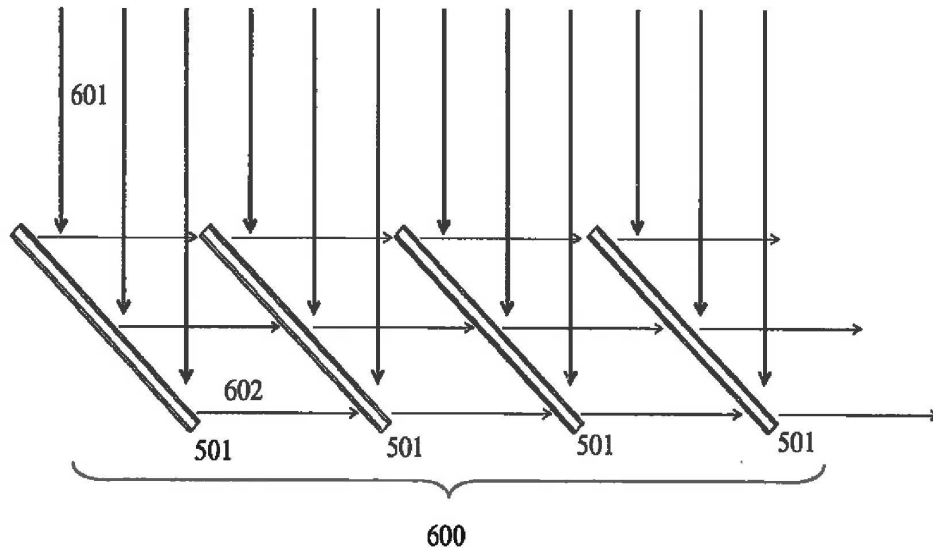


FIG. 6

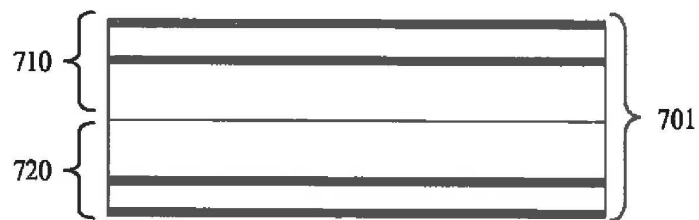


FIG. 7

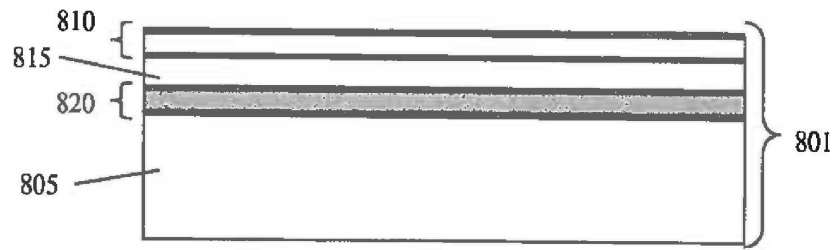


FIG. 8

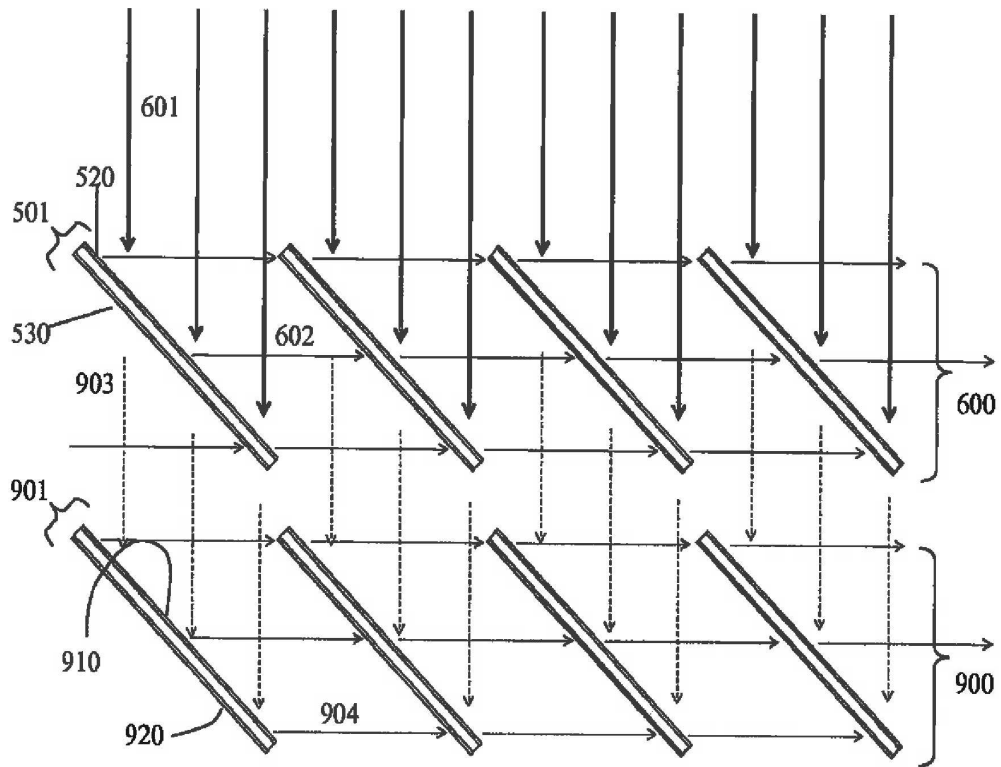


FIG. 9

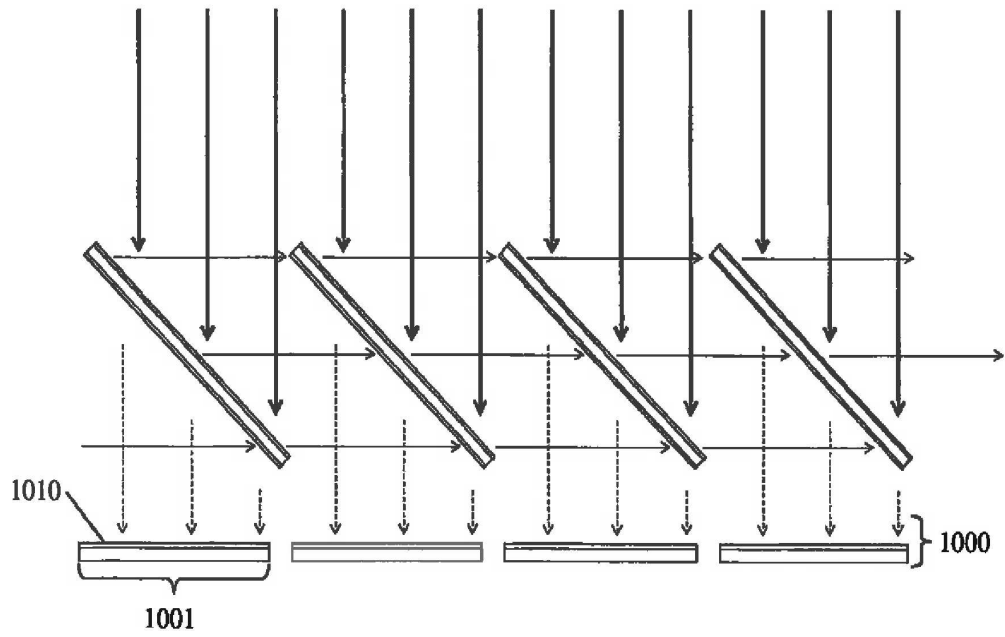


FIG. 10

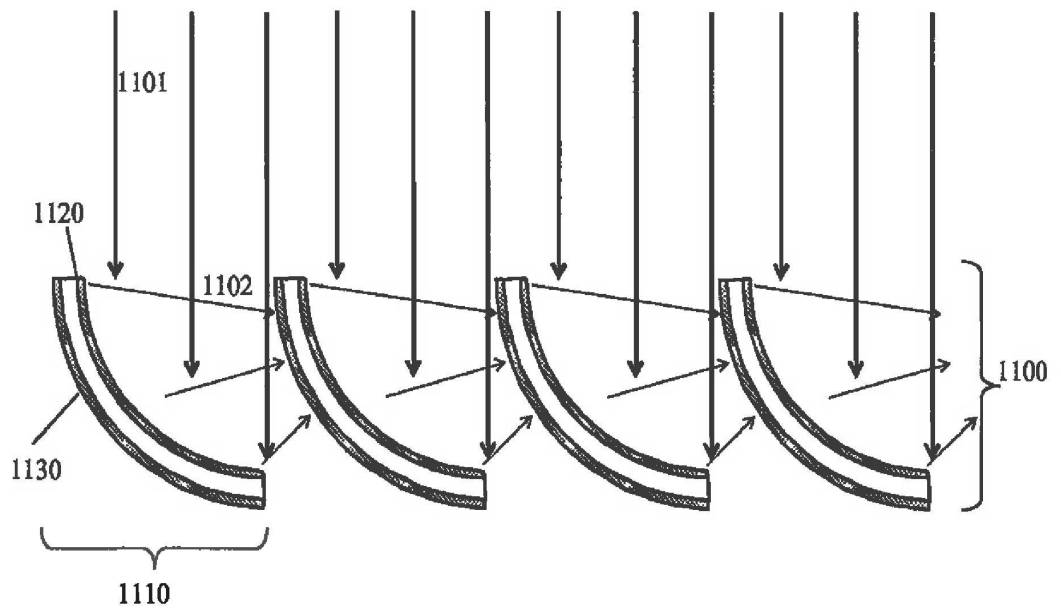


FIG. 11

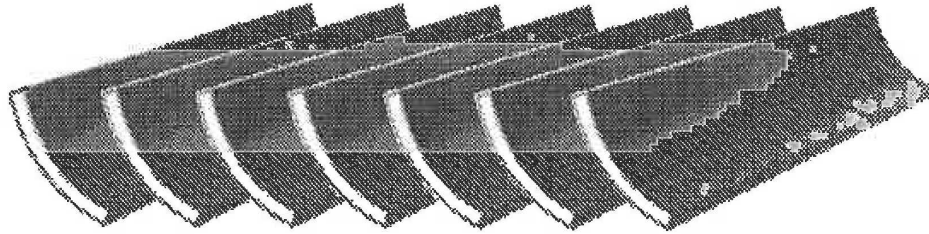


FIG. 12

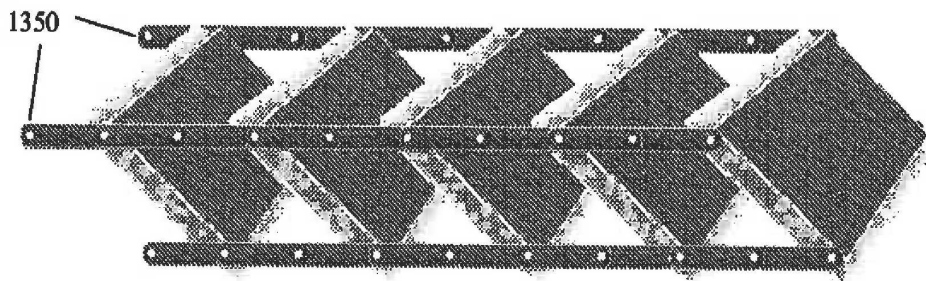


FIG. 13

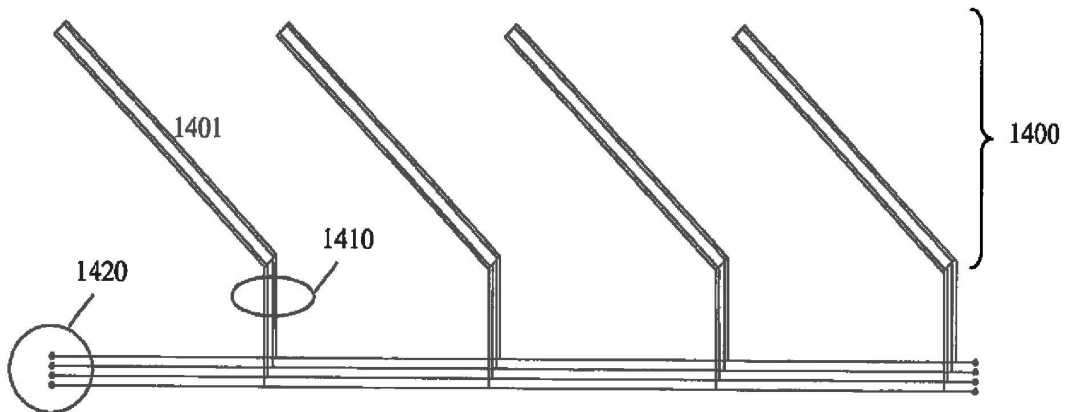


FIG. 14