



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 363 813**

51 Int. Cl.:
H01L 31/052 (2006.01)
H01L 31/0232 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07729568 .1**
96 Fecha de presentación : **28.05.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2153474**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.02.2010**

54 Título: **Dispositivo fotovoltaico con recopilación incrementada de luz.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.08.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.08.2011

73 Titular/es:
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
Piazzale Aldo Moro 7
00185 Roma, IT

72 Inventor/es: **Tormen, Massimo;**
Ingnas, Olle;
Tvingstedt, Kristofer y
Dal Zilio, Simone

74 Agente: **Justo Bailey, Mario de**

ES 2 363 813 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

Dispositivo fotovoltaico con recopilación incrementada de luz

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere en general a células solares de película delgada, y a métodos para incrementar la absorción óptica en tales dispositivos.

- 10 Más específicamente, la invención está relacionada con dispositivos fotovoltaicos, con un diseño micro-estructurado de tal modo que la absorción óptica, y con ello la eficiencia de los dispositivos fotovoltaicos de película delgada con absorción por otra parte limitada, se incrementa por confinamiento de la luz con una micro-lente de aprovechamiento geométrico, separadores ópticos y espejos. Además, se describe un método para generar tales estructuras de manera directa y barata mediante un procedimiento de auto-alineamiento litográfico. La presente
15 invención se refiere también a un proceso de fabricación de bajo coste para realizar los dispositivos fotovoltaicos de la invención.

Antecedentes de la invención

- 20 La conversión directa de la energía radiante procedente del sol en energía eléctrica en tierra, ha sido durante mucho tiempo una de las aplicaciones más deseables para la generación de energía limpia. Según parece incrementarse el calentamiento global y aparecen los contaminantes de CO₂ como responsables de éste en una gran parte, las demandas de formas alternativas de combustiones no fósiles son considerablemente requeridas. Las células fotovoltaicas (PV) son muy adecuadas para este propósito. La generación de electricidad por absorción
25 de luz, ha sido bien aprovechada a partir de materiales semiconductores desde los años 1950, cuando se construyó la primera célula fotovoltaica eficaz. Desde entonces, diversos descubrimientos han generado dispositivos nuevos y mejorados, con un buen comportamiento. Las mejores células actuales son aprovechadas como generadores de potencia en aplicaciones de satélite, y alcanzan eficiencias de conversión de potencia muy por encima del 25%. Una razón fundamental de por qué las células eficientes existentes en la actualidad no están proporcionando una
30 fracción importante de la electricidad terrestre, consiste simplemente en su alto coste de fabricación. Aunque el coste ha caído últimamente, los costes son todavía demasiado altos para competir con otras fuentes de generación de potencia. Otros materiales y sistemas fotovoltaicos más nuevos, están siendo también estudiados y desarrollados en la actualidad. Una alternativa potencial a las células caras existentes en la actualidad, son las células fotovoltaicas de película delgada, y en particular las células fotovoltaicas orgánicas. En las células de
35 película delgada, se utiliza por lo general una cantidad muy pequeña de material semiconductor. La eficiencia de las películas fotovoltaicas de película delgada no cristalina, está limitada en gran medida por la movilidad más baja del portador de carga en comparación con su contrapartida cristalina.

- 40 En un medio de absorción, la intensidad decrece exponencialmente según avanza el flujo fotónico a través del medio. La mayor parte de la luz incidente es absorbida cuando se utilizan medios absorbentes de mayor espesor. Para alguno de los nuevos materiales fotovoltaicos, no se pueden utilizar sin embargo capas demasiado gruesas, debido a una movilidad del portador de carga demasiado baja. La baja movilidad del portador de carga impedirá por lo general que una gran parte de los portadores de carga generados alcancen los electrodos de extracción de corriente. En este caso, resulta crucial aprovechar algún tipo de mecanismo de aumento de la absorción.

- 45 En general, la eficacia de las células solares y la generación de corriente por cantidad de material activo, pueden ser incrementadas mediante el control del flujo de luz. Optimizando la absorción, se puede incrementar el rendimiento cuántico externo, así como la eficacia global de conversión de potencia de la célula. Los materiales de bajo coeficiente de absorción, tal como el Si de banda prohibida indirecta, son en la actualidad dependientes de
50 alguna clase de estructuras de captura de luz que sean eficientes. Una primera razón para aprovechar la luz que se recoge en células solares consiste, como ya se ha expuesto, en que el volumen de semiconductor activo puede ser disminuido. Puesto que la mayor parte de los materiales semiconductores son bastante caros, esto resulta generalmente importante. Una segunda razón consiste en que las células fotovoltaicas se comportan generalmente con una eficiencia más elevada bajo un flujo fotónico más alto o cuando se exponen a fotones con longitudes de recorrido óptico más largas. Al incrementar el flujo fotónico incidente sobre el material activo en una cantidad X
55 determinada, la cantidad de generación de portadores de carga, y con ello la corriente (J), se incrementa generalmente en la misma cantidad.

- 60 Además, la tensión V_{OC} en circuito abierto, se incrementa normalmente de forma logarítmica con X. Esto significa, en consecuencia, que la eficacia de conversión de potencia se incrementa más rápidamente que X si el factor de relleno no se ve afectado. Al incrementar también la longitud de recorrido óptico en el interior de la célula haciendo que la luz se desplace más paralela a la película de la capa activa en vez de exactamente perpendicular a la

misma, se podrá incrementar la probabilidad de generación de portador de carga por cada fotón incidente. Esto genera también, a su vez, más salida de corriente. El incremento del flujo fotónico, de la longitud de recorrido óptico y de la probabilidad de absorción fotónica, puede realizarse con la incorporación de espejos, lentes o estructuras difusoras en la parte superior o en la parte inferior del material de célula solar activa.

5 Al confinar la luz mediante concentradores o sistemas de incremento de la longitud de recorrido, las películas delgadas de movilidad más baja absorberán más luz cuanto más significativamente gruesas sean, permitiendo con ello la recogida del portador de carga en los electrodos. Reflejando la luz múltiples veces a través de la película delgada del material fotovoltaico, la longitud del recorrido óptico puede ser incrementada significativamente. Esto se
10 facilita mediante la invención que aquí se incluye.

Técnica anterior

15 El acoplamiento interno incrementado de luz puede ser obtenido con el uso de rejillas de difracción incorporada en la capa activa o en los electrodos (L. S. Roman, O. Ingnas, T. Granlund et al., "Captura de luz en fotodiodos de polímero con rejillas suaves en relieve", Adv Mater 12 (3), 189+ (2000)). Éstas son, sin embargo, más adecuadas para intervalos estrechos de longitud de onda, son selectivas en cuanto a polarización, y no son adecuadas para obtener acoplamiento interno de potencia óptica más alta a partir de una fuente de luz de amplio espectro. En vez de estructuras ópticas de difracción, los diseños que utilizan óptica geométrica pueden asegurar que el mecanismo de acoplamiento interno sea
20 operativo para la mayor parte del espectro relevante de la fuente de luz, y lo ha demostrado R. Winston, "Principios de concentradores solares de nuevo diseño", Energía Solar 16, 89 (1974).

También se ha demostrado cómo se puede utilizar la captura de luz usando cavidades de Winston para aumentar la generación de potencia en células solares de película delgada. Estos dispositivos utilizan normalmente la luz que incide
25 en una superficie que está cubierta de cavidades con reflectores metálicos, con una geometría que dirigirá la luz de modo que sea inyectada en el absorbedor de película delgada con diferentes ángulos respecto a la normal. Esta solución tecnológica requiere la fabricación de muchas cavidades pequeñas, abiertas por ambos lados, y ha sido demostrada con métodos de micro-diseño (P. Peumans, V. Bulovic, y S. R. Forrest, "Recopilación fotónica eficiente a intensidades ópticas altas en diodos fotovoltaicos de doble hetero-estructura orgánica ultra delgada", Appl. Phys. Lett.
30 76 (19), 2650-2652 (2000)).

Sin embargo, dos inconvenientes están presentes en la alternativa basada en la fabricación de cavidades reflectoras de Winston. La aceptación angular de la luz es pequeña. Las trayectorias luminosas con grandes ángulos son rechazadas después de múltiples reflexiones, reduciendo considerablemente la luz difusa recopilada por el dispositivo. En segundo
35 lugar, se requiere la definición litográfica precisa de paraboloides abiertos por la parte inferior (es decir, por debajo del nivel del foco), para que la recopilación óptima de la luz directa a través de la abertura inferior represente un reto para la fabricación.

Además, los paraboloides deben cubrir tanta área como sea posible de la superficie visible con el fin de evitar el
40 rechazo innecesario de luz. Esto determina requisitos incluso más estrictos sobre la fabricación.

La captura de luz puede ser también llevada a cabo utilizando superficies rugosas para depositar tanto materiales activos como electrodos. Las superficies rugosas son difíciles de combinar con células solares orgánicas de película delgada, donde la capa activa es típicamente del orden de 100 nm, mientras que en los materiales inorgánicos el
45 espesor es con frecuencia 10 veces mayor.

El documento EP-A-1427025 describe un dispositivo fotovoltaico que comprende un primer electrodo dispuesto sobre una primera superficie de la capa de conversión fotovoltaica, y un segundo electrodo que comprende pistas conductoras dispuestas sobre la segunda superficie opuesta de la capa de conversión fotovoltaica. El dispositivo
50 incluye un concentrador de luz hecho con un soporte transparente que tiene sobre su superficie un conjunto de unidades concentradoras de luz, que emplea combinaciones de unidades refractantes, reflectantes y difrangentas.

El documento JP 2003101059 A, describe un dispositivo fotovoltaico conforme al preámbulo de la reivindicación 1.

55 La presente invención proporciona un dispositivo fotovoltaico y un método para su fabricación, que tiene un comportamiento mejorado y que permite aprovechar independientemente luz directa y luz difusa.

El objeto de la presente invención está definido por las reivindicaciones anexas.

60 Las reivindicaciones dependientes definen características adicionales y preferidas de la invención, y han de ser entendidas como parte de la presente descripción.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos, los cuales se proporcionan a título de ejemplos no limitativos:

- 5 - la figura 1 es un dibujo esquemático de un sistema óptico de recopilación de luz, utilizado en el dispositivo fotovoltaico conforme a la invención;
- la figura 1A muestra la trayectoria del rayo de la luz solar directa en el sistema óptico de la figura 1;
- 10 - la figura 2 es un dibujo esquemático, que muestra el sistema óptico de la figura 1 asociado a una cavidad con paredes reflectoras de luz y con absorbedores;
- la figura 2A representa la trayectoria del rayo de la luz solar directa en el sistema óptico de la figura 2, en el que la luz es absorbida directamente o después de una reflexión simple o múltiple en el interior de la cavidad;
- 15 - la figura 3 es un dibujo esquemático, que muestra el sistema óptico de la figura 1 combinado con una célula fotovoltaica que aprovecha la luz solar directa (mencionado como primer sistema fotovoltaico); la célula fotovoltaica está dispuesta en el dibujo separada físicamente del sistema óptico para recopilación de luz;
- 20 - la figura 3A representa trayectorias de rayo posibles de luz solar directa en un sistema de ese tipo;
- la figura 4 es un dibujo esquemático conforme a la figura 3, en el que el sistema fotovoltaico está situado físicamente y ópticamente en contacto con el sistema óptico para recopilación de luz;
- 25 - la figura 4A muestra trayectorias de rayo posibles de luz solar directa en el sistema de la figura 4;
- la figura 5 muestra un esquema del dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la invención, y
- 30 - la figura 5A representa trayectorias de rayo posibles tanto de luz directa como de luz difusa en el sistema de la figura 5, y
- la figura 6 y la figura 7 muestran un esquema del dispositivo fotovoltaico de la invención de acuerdo con los ejemplos 3 y 4 que siguen.

35 Descripción detallada de la invención

La presente invención hace uso de un sistema óptico de recopilación de luz que separa la luz solar directa de la luz difusa.

- 40 La idea de un sistema de recopilación de luz de ese tipo ha tenido su origen en la cuestión: "¿es posible encontrar una lámina de un material que sea transparente si se ilumina desde un lado, y reflectante si se ilumina desde el opuesto?". Puesto que las ecuaciones del campo electromagnético son reversibles en el tiempo, el fotón que avanza en una dirección es adsorbido por la lámina con la misma probabilidad que el fotón que avanza en dirección opuesta. Por lo tanto, la respuesta a la cuestión anterior debería ser negativa.

- 45 Sin embargo, si no se consideran únicamente trayectorias fotónicas simples, cuyas trayectorias sean reversibles, sino una distribución de trayectorias fotónicas, es posible apreciar que existen vías para diseñar un dispositivo óptico que permita que pasen haces colimados fácilmente a través de una lámina desde uno de los lados, y no desde el otro lado.

- 50 El concepto de dispositivo óptico que realiza esta función ha sido representado en la figura 1. Un haz colimado de fotones (tal como la luz solar directa) incide sobre la lámina 2 con un conjunto de micro-lentes 4 formadas en un material dieléctrico transparente que enfoca la luz colimada sobre el lado opuesto del dieléctrico en el que se encuentra situada una película 8 metálica reflectante, que tiene una matriz de orificios o aberturas 6. Ésta actúa, por lo tanto, como un sistema de pupilas que permiten que la luz enfocada emerja desde el otro lado de la lámina. La fracción del
- 55 área superficial de los orificios 6 de la película 8 metálica reflectante, puede estar hecha de forma que sea muy pequeña con respecto al área total de la superficie metálica. Por ejemplo, las pupilas pueden tener un diámetro de 10 μm y el período puede ser de 100 μm . Un haz de luz colimada procedente del otro lado de la película 8 metálica sería así reflejada en su mayor parte sobre el espejo (en el ejemplo anterior, aproximadamente un 99% de la luz sería reflejada). También, la luz de una fuente con emisión espacial y direccional aleatoria que incida sobre el conjunto de pupilas, sería estadísticamente reflejada en un 99% y solamente los haces con una distribución espacial y direccional
- 60 especial y bien definida serían transmitidos en su mayor parte.

Este concepto aprovecha la bien definida direccionalidad de la luz solar directa, haciendo que sea posible inyectar luz en una cavidad 10 con paredes 14 reflectantes, a través de un sistema óptico con la estructura de las figuras 2 y 2A, con una baja probabilidad de que, como resultado de las reflexiones internas en la cavidad, los fotones emerjan desde la misma. En particular, en presencia de un material absorbente (absorbedor 12) en la cavidad, la probabilidad del fotón de ser re-emitido podría hacerse muy baja en comparación con la probabilidad de ser absorbido.

El dispositivo óptico descrito en lo que antecede puede ser considerado también como un filtro direccional que separa la luz directa (colimada) y la difusa. Por construcción, la luz difusa se mantiene fuera de la cavidad y es transportada a áreas en las que puede ser aprovechada por un sistema fotovoltaico en una trayectoria de absorción fotónica de doble paso. Esto proporciona la oportunidad de una optimización independiente de los dos sistemas fotovoltaicos (principalmente la banda prohibida del semiconductor) con el fin de emparejar la composición espectral diferente de la luz directa y difusa. En particular, puesto que el espectro de la luz difusa está desplazado hacia el azul con respecto al de la luz directa, podría resultar conveniente tener la máxima absorción en la célula fotovoltaica que aprovecha la luz difusa a energía fotónica más alta que en la célula fotovoltaica que aprovecha la luz directa.

La fabricación del sistema de captura lleva consigo la realización de la lámina 2 transparente con el conjunto de microlentes 4 por uno de los lados. Esta estructura puede ser fabricada de manera efectiva (aunque no se sea necesario) con métodos de diseño basados en el uso de moldes o troqueles, tal como mediante moldeo por inyección, estampación en relieve, litografía de nanoimpresión térmica o basada en UV, impresión continua con rodillos, etc.

La lámina 2 transparente está hecha de un material dieléctrico tal como un polímero termoplástico o un polímero curable, por ejemplo vidrio sol-gel curable con UV, con preferencia dispuesto sobre un soporte rígido, por ejemplo vidrio.

Con el fin de optimizar la recopilación de luz solar directa resulta crucial que la superficie disponible sobre la lámina 2 transparente esté cubierta completamente por micro-lentes 4, que sean con preferencia lentes esféricas o cilíndricas. Una técnica de fabricación que satisface este requisito ha sido desarrollada por M. Tormen et al. (véase el documento WO 2006/087744). El uso de este requisito ha facilitado la fabricación de troqueles para conjuntos de micro-lentes densamente empacadas que cubren hasta el 100% de la superficie disponible, mediante litografía con haz óptico o electrónico y grabado químico en mojado. La técnica permite también una producción de alto rendimiento para troqueles de amplia área ($>20 \times 20 \text{ cm}^2$) con microlentes esféricas o cilíndricas con un control preciso de los parámetros geométricos.

Dichas microlentes están preferentemente ordenadas siguiendo un despliegue hexagonal o cuadrado empaquetadas de forma próxima.

La superficie de las microlentes está preferentemente dotada de propiedades anti-reflectantes que pueden ser logradas mediante rugosidad superficial, mediante un revestimiento superficial anti-reflectante, o mediante nanoestructuras.

La fabricación del sistema para recopilación de luz de acuerdo con el concepto descrito en lo que antecede, requiere la fabricación de una matriz de pupilas, alineadas con el conjunto de lentes 4. Esta etapa se ha simplificado considerablemente mediante un procedimiento de auto-alineamiento que aquí se propone, que también constituye un objeto de la presente patente. Para la definición de las pupilas alineadas es posible aprovechar el propio conjunto de microlentes 4 para enfocar la radiación de una fuente de luz (IR, visible o UV) sobre una matriz de puntos (o líneas en el caso de lentes cilíndricas) dispuestos en el lado opuesto de la lámina. La definición física de la posición de las pupilas individuales incluye la exposición con la luz enfocada por las microlentes 4 de una película de material fotosensible (tal como una foto-resistencia) depositada por el lado opuesto al conjunto 4 de microlentes, seguido por el revelado del material fotosensible. La modelación de la película 8 metálica de acuerdo con el patrón del material fotosensible (foto-resistencia) se obtiene mediante métodos de transferencia de modelo, bien conocidos por los operadores del sector de la micro-fabricación, tal como grabado en seco o en mojado, despegue, deposición eléctrica o no eléctrica, etc.

El requisito previo para la aplicación de este método de alineación, así como para la actuación correcta del dispositivo como filtro direccional de luz, consiste en que el índice de refracción del medio transparente (o del apilamiento de medios) con el que se han realizado las microlentes 4 y la lámina 2, el radio de curvatura de las microlentes 4 y el espesor de la lámina 2, estén ajustados de modo que el plano focal de las microlentes 4 para los rayos paraxiales de la banda espectral de interés (típicamente la luz visible o cercana al infrarrojo), coincida aproximadamente con el plano del lado opuesto de la lámina 2.

Una ligera desintonización de la profundidad focal con respecto al plano P de la lámina 2 durante el procedimiento de auto-alineamiento, no sería necesariamente perjudicial para el dispositivo final. Por el contrario, el desenfoque ofrece la posibilidad de agrandar el tamaño del área expuesta de la foto-resistencia, y por consiguiente de las pupilas, con el fin

de relajar ligeramente las propiedades de filtración direccional y compensar la aberración cromática de las lentes.

5 El dispositivo fotovoltaico conforme a la invención comprende un primer sistema de célula fotovoltaica para el aprovechamiento de la luz solar directa, indicado con 16 en su conjunto, que está situado en el semi-espacio opuesto del conjunto 4 de microlentes con respecto al plano de la matriz 6 de aberturas (figuras 3, 3A, 4, 4A).

10 El primer sistema 16 de célula fotovoltaica puede estar conectado por medio de una capa 18 (figuras 4, 4A) de un material dieléctrico transparente, al conjunto 4 de microlentes y a la matriz 6 de aberturas, o alternativamente, estar separado de los mismos por medio de un espacio 20 vacío (figuras 3, 3A). El primer sistema 16 de célula fotovoltaica comprende, según resulta en sí conocido, un primer 22 y un segundo 24 (trasero) electrodos, con una capa 26 de conversión entre ambos (figuras 4, 4A), es decir, una capa fotovoltaica activa.

15 En una realización, dicho primer sistema 16 de célula fotovoltaica posee un electrodo 24 trasero que es reflectante. Alternativamente, el electrodo 24 trasero puede ser transparente; en este caso, el electrodo 24 reflectante actúa como separador óptico que separa la capa 26 de conversión de una capa 42 reflectante adicional que puede ser simplemente plana o contener estructuras dispersoras de dos dimensiones o de tres dimensiones, con el fin de aumentar la longitud de la trayectoria de la luz reflejada por detrás. Además, la capa 42 reflectante puede ser utilizada para reducir la resistencia laminar del electrodo 24 transparente, mejorando la recogida de portador del dispositivo fotovoltaico.

20 En una realización, el primer sistema (16) fotovoltaico puede ser reemplazado al final de la vida útil de la célula.

25 De acuerdo con una característica definitoria de la invención, el dispositivo fotovoltaico puede comprender además un segundo sistema de célula fotovoltaica (figuras 5, 5A), indicado en su totalidad mediante la referencia numérica 30, para el aprovechamiento de luz difusa, que está situado en el mismo semi-espacio que contiene el conjunto 4 de microlentes con respecto a la matriz 6 de aberturas. Dicho segundo sistema fotovoltaico comprende un primer electrodo 28, una o más capas 32 de conversión, y un segundo electrodo 34 (trasero).

30 La presente invención no está limitada a un material específico para la construcción de las capas 26 y 32 de conversión del primer 16 y del segundo 30 sistemas de célula fotovoltaica que se han descrito en lo que antecede, pudiendo utilizarse cualquier material adecuado, siempre que esté adaptado para convertir la luz incidente en energía eléctrica y para canalizarla hasta los electrodos. Se prefieren por lo general capas de conversión orgánica.

35 En una realización, la película 8 metálica que incluye la citada matriz 6 de aberturas, representa un electrodo (cátodo o ánodo) para el primer sistema 16 de célula fotovoltaica, que aprovecha la luz solar directa (por ejemplo, el primer electrodo 22) o para el segundo sistema 30 de célula que aprovecha la luz difusa (por ejemplo, el electrodo 34 trasero), o común a ambos sistemas de célula fotovoltaica, según se va a describir en lo que sigue.

40 En la realización de las figuras 6 y 7, el dispositivo fotovoltaico de la invención incluye el primero 16 y el segundo 30 sistemas de célula fotovoltaica en serie; la única diferencia con respecto al concepto general de una célula fotovoltaica en tándem consisten en que, en el presente caso, el primero 16 y el segundo 30 sistemas de célula están separados por la película 8 metálica, por ejemplo una capa de aluminio o plata, que incluye una matriz de aberturas 6, en vez de una o más capas transparentes (capa 18 transparente de las figuras 4, 4A).

45 El dispositivo está sellado con un material 46 polimérico transparente en el que están incrustadas las células fotovoltaicas.

Una capa 38 metálica reflectante (retro-reflector) ha sido depositada sobre dicho material 46 polimérico transparente, y la capa 40 protectora sella el dispositivo por su superficie trasera, opuesta al conjunto 4 de microlentes.

50 Se pueden introducir estructuras dispersoras bidimensionales y tridimensionales en el material 46 polimérico y/o en el retro-reflector 38 metálico para aumentar la profundidad óptica de la luz y optimizar su absorción dentro de las capas 26 de conversión de los sistemas 16 de célula para la luz directa.

55 El proceso actual de fabricación respecto al dispositivo fotovoltaico completo puede variar considerablemente de una realización a otra en términos de tamaño, forma y disposición de las lentes, materiales empleados, etapas de proceso y estructura de célula, sin apartarse del concepto básico de concentradores que se ha expuesto en la presente memoria.

Ejemplo 1 (figuras 4, 4A)

60 Una lámina de polímero termoplástico 2 con un índice de refracción de aproximadamente 1,5 y un espesor de 200 micrómetros, se estampa en caliente con un troquel de cuarzo o de vidrio que porta en su superficie una matriz hexagonal de cavidades semiesféricas (el conjunto 4 de microlentes) con un radio de curvatura y una distancia de

centro a centro de 65 y 100 micrómetros, respectivamente.

5 La película 8 de metal de aproximadamente 50 nm de aluminio, se deposita sobre el lado plano de la lámina de plástico. Una película delgada de una foto-resistencia de UV de tono positivo se deposita sobre la parte superior de la capa de aluminio. El conjunto 4 de microlentes se ilumina con una fuente de UV colimada con el fin de dejar al descubierto una matriz de puntos en la foto-resistencia a través de la capa 8 de metal.

10 La reducción a un bajo % de transmisión de la luz UV a través de la película 8 de metal, está compensada por el fuerte incremento de intensidad de la luz UV debida al enfoque. Esto permite la exposición de la foto-resistencia sin necesidad de incrementar sustancialmente el tiempo de exposición. Tras el revelado de la foto-resistencia, las áreas sin protección de la película 8 de metal son grabadas mediante grabado químico en mojado y la foto-resistencia se disuelve. El sistema de recopilación de luz (es decir, la lámina 2 termoplástica con las microlentes 4 por un lado y las pupilas por el otro), se une al sistema 16 de célula fotovoltaica mediante curado del material 18 dieléctrico transparente que rellena un espacio de mas de 50 micrómetros.

15

Ejemplo 2 (figuras 5 y 5A)

20 Un polímero curable con UV se modela con el conjunto de microlentes 4 por un lado de un sustrato de vidrio mediante litografía de nanoimpresión con UV. Por el otro lado del sustrato de vidrio, se deposita una segunda capa, con el fin de formar la estructura de la célula 30 fotovoltaica. Por ejemplo, el apilamiento comprende el primer electrodo 28 fabricado con una capa transparente conductora tal como Óxido de Indio y Titanio (ITO) seguido de PEDOT:PSS (100-300 nm) (poli(3,4 – etilendioxitiofeno):poliestireno-sulfonato), la capa 32 de conversión, por ejemplo metil éster del ácido poli(3-hexiltiofeno):[6,6]-fenil-C61-butírico (P3HT:PCBM) o el asegurador CdS/CdTe con un espesor comprendido en la gama de 50 a 300 nm, estando hecho el electrodo 34 trasero de aluminio (80-120 nm).

25

Una foto-resistencia de alta sensibilidad se deposita sobre el apilamiento de capas, y se deja al descubierto mediante la luz UV enfocada por medio del conjunto de microlentes 4 y transmitida parcialmente por el apilamiento de capas del sistema 30 de célula fotovoltaica.

30 Tras el revelado de la foto-resistencia, el apilamiento de capas se graba químicamente con plasma en las áreas en las que la foto-resistencia ha sido retirada, hasta que se alcanza el sustrato de vidrio. Se utiliza un segundo proceso de plasma para desprender la foto-resistencia de la superficie completa, deteniendo el proceso cuando se haya alcanzado la capa transparente conductora. Una célula 16, cuya estructura no se ha especificado en este ejemplo, puede ser montada simplemente frente a la capa 34 de aluminio separada por un espacio de aire (de acuerdo con la figura 3) o conectada por medio de una capa 18 de dieléctrico transparente tal como PDMS o de un polímero curable térmicamente o con UV (como en la figura 4).

35

Ejemplo 3 (figura 6)

40 Se deposita una secuencia de capas delgadas sobre vidrio 2a con el fin de obtener un apilamiento de dos células fotovoltaicas. Tras la deposición del apilamiento de capas (y la modelación para los contactos), se fabrica una matriz de lentes 4 cilíndricas en un material 2b de Sol-Gel curable con UV por el lado opuesto del sustrato 2a de vidrio. El material 2b de Sol-Gel se elige de tal modo que el material endurecido tenga un índice de refracción que se empareje con el del vidrio 2a, minimizando de ese modo la reflexión en la interfaz de vidrio/ Sol-Gel. Utilizando un procedimiento de alineamiento desde la parte superior hasta la inferior, se realizan litográficamente aberturas correspondientes al foco de las lentes cilíndricas en el apilamiento completo de capas depositadas, proporcionando una trayectoria de entrada para la luz solar directa. Las rendijas presentes en el apilamiento de capas se rellenan con un recubrimiento transparente grueso de Sol-Gel, el cual es el material 46 polimérico transparente, equilibrando el índice de refracción del sustrato 2a de vidrio. Finalmente, la capa 38 de metal reflectante y la capa 40 protectora son depositadas sobre el recubrimiento 46 de Sol-Gel de la superficie trasera.

50

Más específicamente, la célula de este ejemplo puede ser realizada con los materiales siguientes.

55 El primer sistema 16 de célula (para luz directa) es una célula fotovoltaica de tipo orgánico, cuya estructura comprende el electrodo 24 trasero fabricado mediante una capa de aluminio y fluoruro de litio (LiF) ultrafina (~1 nm), la capa 26 de conversión de metil éster del ácido poli(3-hexiltiofeno):[6,6]-fenil-C61-butírico (P3HT:PCBM), el primer electrodo 22 fabricado con una capa transparente conductora de PEDOT:PSS (100-300 nm) seguido de Óxido de Indio y Estaño (ITO).

60 El segundo sistema 30 de célula (para luz difusa), consiste en una célula de tipo CIGS (Cu, In, Ga y Se), cuya estructura comprende el primer electrodo 28 consistente en una rejilla de aluminio, una capa de óxido de zinc seguida de una capa de sulfuro de cadmio, la capa 32 de conversión realizada con una selenita de cobre indio galio (CIGS),

que actúa como capa absorbente, y el electrodo 34 trasero fabricado con molibdeno.

La capa reflectante que separa las dos células fotovoltaicas en serie es la capa de aluminio o de plata 8.

5 Ejemplo 4 (figura 7)

Se fabrica una matriz de lentes con un material 2b de Sol-Gel curable con UV por un lado de un sustrato 2a de vidrio. La distancia focal se elige de modo que tenga el foco de la luz visible por el otro lado del sustrato 2a de vidrio. El material 2b de Sol-Gel se selecciona de tal modo que el material endurecido tenga un índice de refracción que se equipare con el del vidrio 2a, minimizando de ese modo la reflexión en la interfaz de vidrio/ Sol-Gel.

Se obtiene un sistema fotovoltaico consistente en un apilamiento de dos células orgánicas sobre el lado libre del sustrato 2a de vidrio mediante deposición a través de máscaras de plantilla de una serie de capas dispuestas simétricamente con respecto a un cátodo común de LiF/ aluminio/ LiF.

Más específicamente, el dispositivo consiste en la siguiente secuencia de capas:

- primer electrodo 28 del segundo sistema 30 de célula:

- óxido de indio y estaño
- PEDOT:PSS

- capa 32 de conversión del segundo sistema 30 de célula:

- heterounión voluminosa consistente en una mezcla de metil éster del ácido metano fullereno[6,6]-fenil C6I butírico (PCBM) y poli(3-hexiltiofeno) (P3HT)

- capa 8, que corresponde al electrodo 34 trasero del segundo sistema 30 de célula y al electrodo 24 trasero del primer sistema 16 de célula:

- LiF
- Al
- LiF

- capa 26 de conversión del primer sistema 16 de célula:

- heterounión voluminosa de una mezcla de metil éster del ácido metano fullereno[6,6]-fenil C6I butírico y poli(3-hexiltiofeno) (P3HT)

- primer electrodo 22 del primer sistema 16 de célula:

- PEDOT:PSS
- óxido de indio y estaño

Se utilizan diferentes máscaras de plantilla en la serie de capas depositadas con el fin de formar tres áreas de contacto no solapantes para el cátodo de aluminio y para los dos ánodos de Óxido de Indio y Estaño del primero 16 y del segundo 30 sistemas. Además, las plantillas contienen características que impiden la deposición de material en las regiones correspondientes al foco de las lentes, con el fin de crear la trayectoria de entrada para la luz hacia el semi-espacio del primer sistema 16 de célula. Se utilizan diferentes espesores para la capa de heterounión voluminosa en el primero 16 y en el segundo 30 sistemas de célula, con el fin de asegurar el máximo aprovechamiento de luz tanto para doble paso (segundo sistema 30 de célula) como para el paso múltiple (primer sistema 16 de célula) de la luz.

Se puede realizar una templadura post-producción en esta fase, con el fin de mejorar las características de las células y de los contactos. El dispositivo se pone en contacto y se sella con el material 46 polimérico transparente, seguido de la deposición de un reflector 38 trasero metálico. La capa 40 protectora sella el dispositivo y protege el reflector 38 trasero frente a los arañazos. La introducción de estructuras de dispersión de dos dimensiones o de tres dimensiones en el material 46 polimérico y/o en el reflector 38 trasero metálico puede ser utilizada para aumentar la trayectoria óptica de la luz y optimizar su absorción en el interior de la capa 26 de fotoconversión del primer sistema 16 de célula.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un dispositivo fotovoltaico que comprende un sistema óptico para una recopilación incrementada de luz, que comprende:
- 5
- una capa transparente de material (2) dieléctrico, que tiene por un lado un conjunto de microlentes (4) y por el lado opuesto una película (8) reflectante metálica con una matriz de aberturas (6), en el que las microlentes (4) enfocan la luz solar directa que incide sobre las mismas, paralela al eje óptico de dichas microlentes, a través de las citadas aberturas (6), para separar con ello la luz solar directa y la luz solar difusa, y
- 10
- un primer sistema (16) de célula fotovoltaica para el aprovechamiento de la luz solar directa, situado en el semi-espacio opuesto al conjunto de microlentes (4) con respecto al plano de la matriz de aberturas (6);
- caracterizado porque comprende además:
- 15
- un segundo sistema (30) de célula fotovoltaica para el aprovechamiento de la luz solar difusa, situado en el mismo semi-espacio que contiene al conjunto de microlentes (4) con respecto al plano de la matriz de aberturas (6).
- 2.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho conjunto de microlentes (4) comprende lentes esféricas o lentes cilíndricas.
- 20
- 3.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 2, en el que dichas lentes esféricas están ordenadas según una matriz hexagonal o cuadrada empaquetadas de forma próxima.
- 25
- 4.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicha matriz de aberturas (6) comprende orificios (6) transparentes o líneas transparentes en una película (8) de material reflectante de otro modo.
- 30
- 5.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho primer sistema (16) de célula fotovoltaica está conectado por medio de una capa (18) de material dieléctrico transparente al conjunto de microlentes (4) y a la matriz de aberturas (6).
- 35
- 6.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicho material (18) dieléctrico transparente comprende un material elastomérico.
- 40
- 7.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho primer sistema (16) de célula fotovoltaica que aprovecha la luz directa está separado por un espacio (20) de aire o vacío del conjunto de microlentes (4) y de la matriz de aberturas (6).
- 45
- 8.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que dicha película (8) reflectante metálica comprende un electrodo para el citado primer sistema (16) de célula fotovoltaica que aprovecha la luz directa, o para el citado segundo sistema (30) de célula que aprovecha la luz difusa, o para ambos sistemas citados de célula fotovoltaica.
- 50
- 9.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicho primer sistema (16) de célula fotovoltaica posee un electrodo (24) trasero transparente o un electrodo (24) trasero reflectante, cuyo electrodo trasero reflectante está opcionalmente modelado con estructuras dispersoras de dos dimensiones o de tres dimensiones, con el fin de desviar los rayos de luz e incrementar además la trayectoria óptica en la capa absorbente de la célula (16) fotovoltaica.
- 55
- 10.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 9, en el que dicho electrodo (24) trasero transparente está separado por medio de un segundo separador óptico de un modelo (42) reflectante con estructuras de dispersión de dos dimensiones o de tres dimensiones, con el fin de desviar los rayos de luz e incrementar además la trayectoria óptica en la capa absorbente de la célula (16) correspondiente.
- 60
- 11.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la superficie de dichas microlentes (4) tiene una rugosidad superficial o comprende nanoestructuras adecuadas para incrementar sus propiedades anti-reflectantes.
- 12.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la superficie de dichas microlentes (4) está recubierta con un recubrimiento de película anti-reflectante.

- 13.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la absorción fotónica por parte de la primera célula (16) está desplazada hacia el rojo con respecto a la de la segunda célula (30).
- 5 14.- Un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la banda prohibida para las transiciones ópticas en las capas activas tanto de la primera (16) como de la segunda (30) células fotovoltaicas, están comprendidas en la gama de 0,8 a 2,5 eV, y la banda prohibida del material activo de la segunda célula (30) es mayor que el de la primera célula (16)-
- 10 15.- Un método para la construcción de un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende las etapas de:
- proporcionar una capa (2) transparente de material dieléctrico que tiene por un lado de la misma un conjunto de microlentes (4);
- 15 - aplicar al lado opuesto de dicha capa transparente una película de material (8) conductor reflectante;
- aplicar por encima de dicha película de material conductor reflectante una película de material fotosensible;
- 20 - irradiar el citado conjunto de microlentes (4) con una fuente de luz colimada con el fin de exponer a dicha fuente de luz, áreas seleccionadas que forman una matriz en dicha película de material fotosensible, a través de dicho material conductor reflectante;
- revelar el material fotosensible para dejar con ello áreas sin protección; y
- 25 - eliminar el material conductor de las áreas sin protección para obtener con ello una matriz de aberturas en el citado material conductor.

Fig.1A

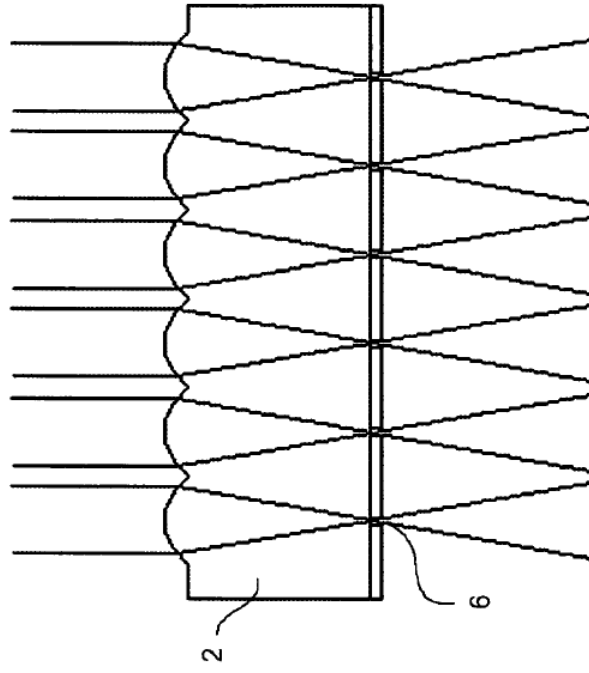
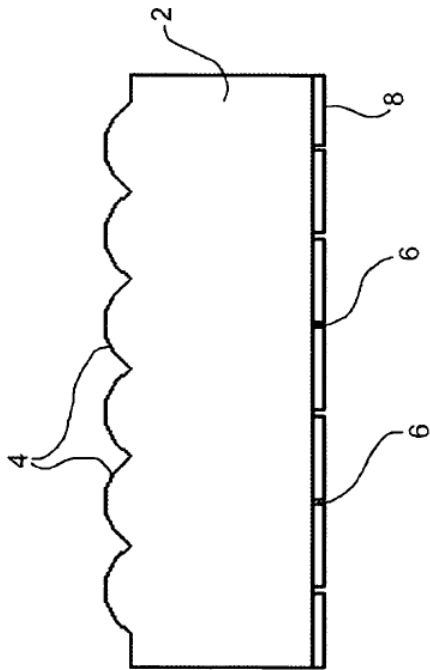


Fig.1



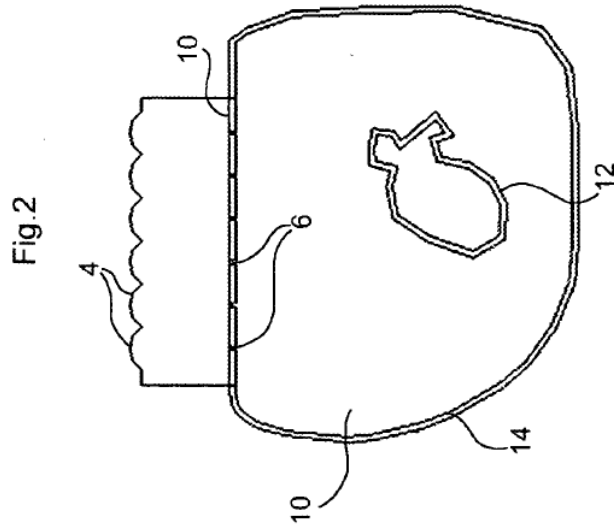
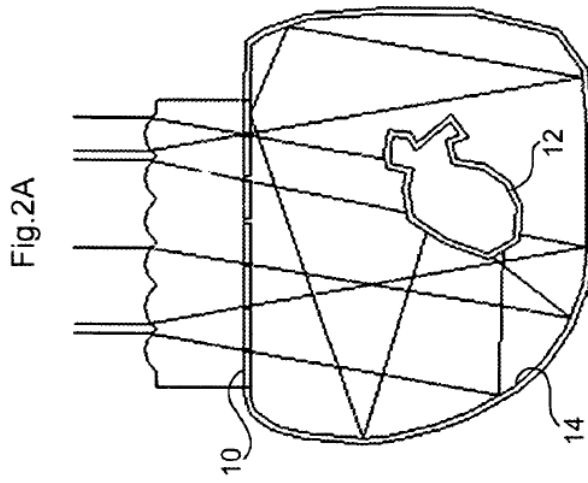


Fig.3A

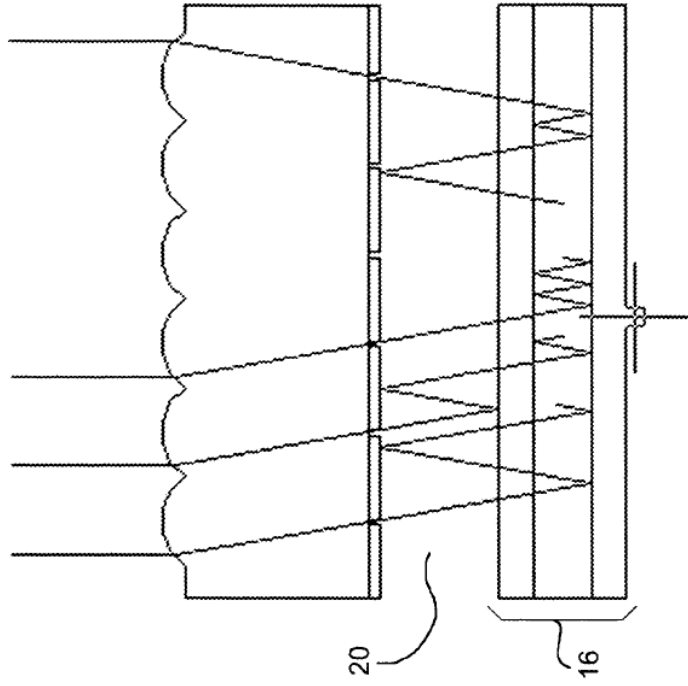


Fig.3

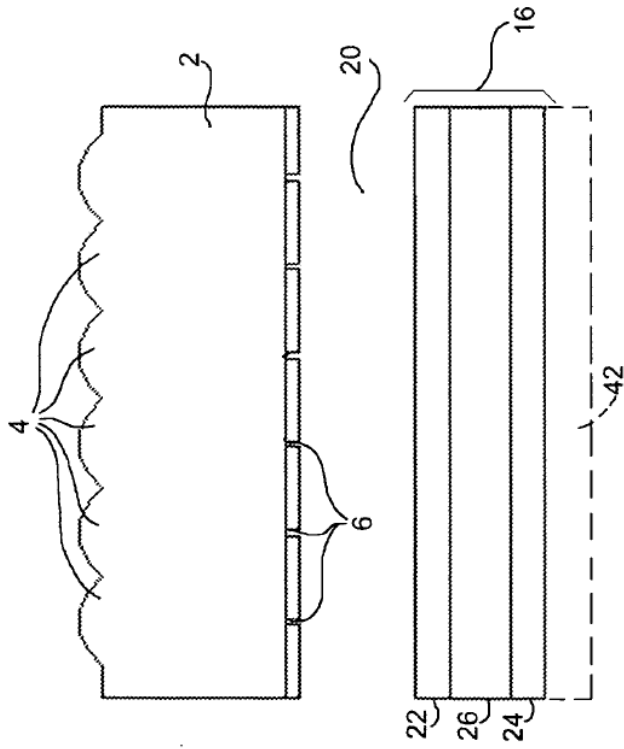


Fig. 4A

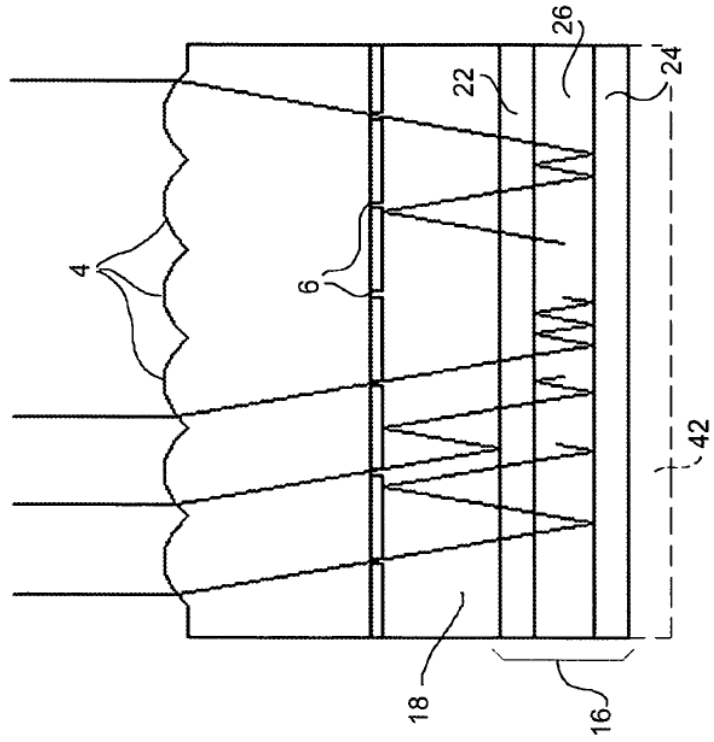


Fig. 4

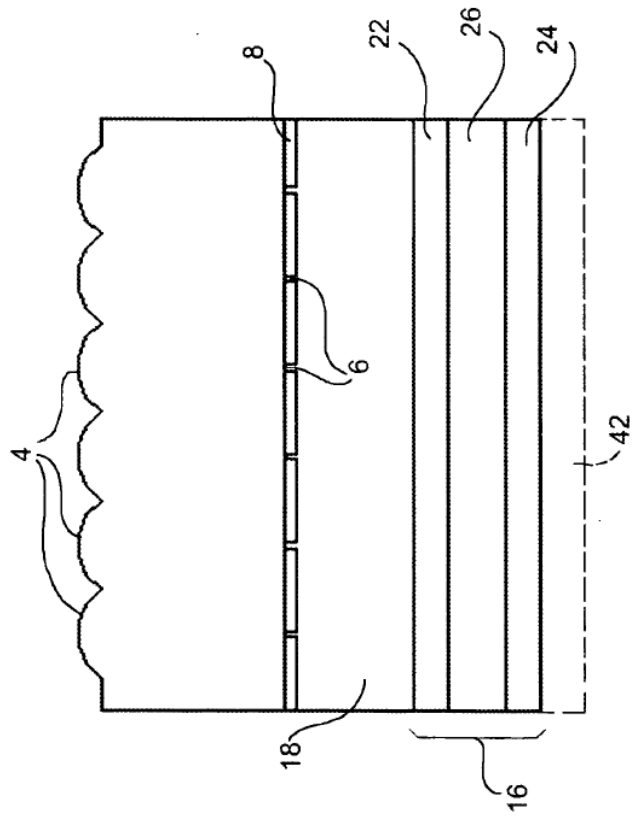


Fig.5

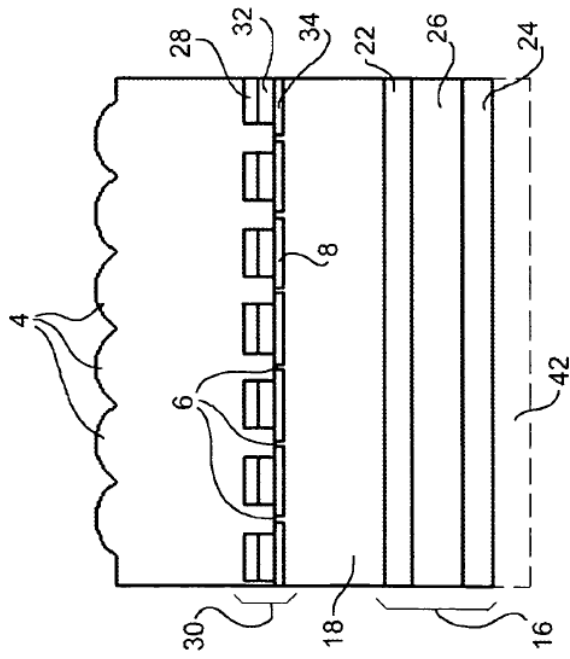
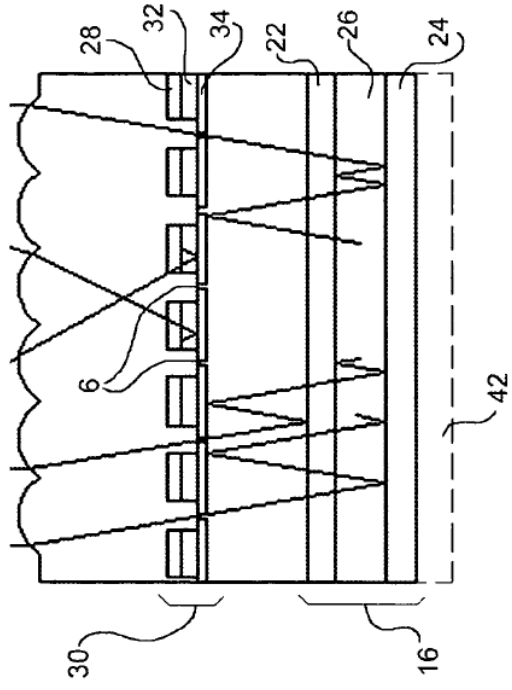


Fig.5A



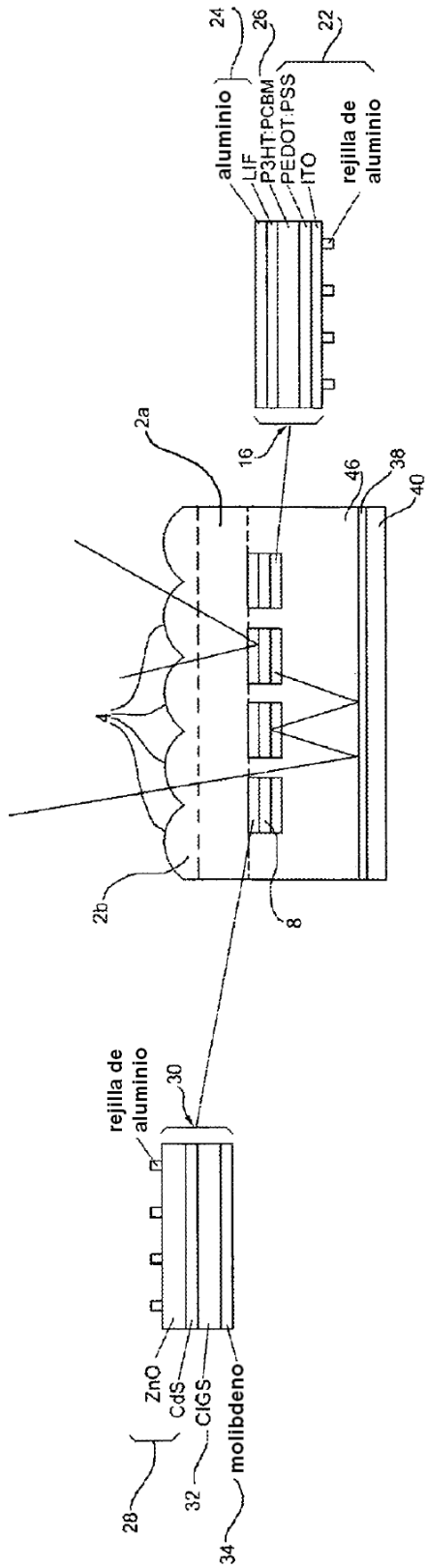


Fig.6

