

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 522 582**

51 Int. Cl.:

C23C 16/02 (2006.01)

C23C 16/24 (2006.01)

H01L 31/0236 (2006.01)

H01L 31/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2007 E 07301336 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.09.2014 EP 2031082**

54 Título: **Sustrato metálico texturizado cristalográficamente, dispositivo texturizado cristalográficamente, célula y módulo fotovoltaico que comprenden un dispositivo de este tipo, y procedimiento de depósito de capas finas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.11.2014

73 Titular/es:

APERAM ALLOYS IMPHY (50.0%)
1-5, rue Luigi Cherubini
93200 Saint Denis, FR y
ECOLE POLYTECHNIQUE (50.0%)

72 Inventor/es:

REYAL, JEAN PIERRE;
REYDEY, PIERRE-LOUIS;
ROCA CABARROCAS, PERE y
DJERIDANE, YASSINE

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 522 582 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

Sustrato metálico texturizado cristalográficamente, dispositivo texturizado cristalográficamente, célula y módulo fotovoltaico que comprenden un dispositivo de este tipo, y procedimiento de depósito de capas finas.

5 La invención se refiere a un sustrato metálico texturizado cristalográficamente, a un dispositivo texturizado cristalográficamente, a una célula y a un módulo fotovoltaico que comprenden un dispositivo de este tipo, y a un procedimiento de depósito de capas finas.

10 En la industria de las células fotovoltaicas, el desarrollo de las capas finas a base de silicio sobre sustratos cerámicos, vítreos o metálicos, es la alternativa a la escasez actual de silicio monocristalino o multi-cristalino macizo. En efecto, las tecnologías de elaboración de películas finas permiten reducir considerablemente las cantidades de silicio utilizado.

15 Las células fotovoltaicas de capas finas presentan actualmente dos sistemas de elaboración distintos. El primer sistema se refiere a las capas finas de silicio amorfo, polimorfo, nanocristalino y microcristalino. El segundo sistema se refiere a las capas finas de silicio policristalino.

20 En el primer sistema, las capas finas de silicio amorfo son depositadas generalmente a bajas temperaturas (de 100°C a 350°C) mediante unas técnicas de plasma como, por ejemplo, la técnica de depósito químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD "Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition") sobre sustratos de vidrio o también sobre sustratos flexibles y de bajo coste, tales como los polímeros y aceros inoxidable.

25 Esta tecnología presenta ventajas de carácter económico, pero tiene también dos puntos débiles principales, que son un rendimiento de conversión limitado al 10% en procedimiento industrial, y una degradación del rendimiento bajo iluminación denominada inestabilidad de Staebler-Wronski, en el caso del silicio amorfo.

30 El fenómeno de degradación puede estar limitado por la elaboración de capas finas de silicio polimorfo caracterizadas por la incorporación de nano-cristalitas de silicio en el seno del silicio amorfo.

En el caso del silicio policristalino, los procedimientos de obtención del silicio recurren a etapas a alta temperatura. Es posible depositar silicio amorfo a baja temperatura pero se recristaliza mediante un recocido a alta temperatura.

35 Es difícil optimizar el compromiso entre el rendimiento de conversión y el coste de fabricación de las células fotovoltaicas.

40 Se conocen a partir del documento "Roedern, K. Zweibel y HS. Ullal, The role of polycrystalline thin-film PV technologies for achieving mid-term marketcompetitive PV modules - B.- 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition - NREL/CP-520-37353 - Lake Buena Vista, Florida, 3-7 de enero de 2005" unos métodos que permiten elaborar unas películas finas de silicio policristalino (poli-Si).

45 Se admite hoy día que para obtener un rendimiento elevado, es necesario desarrollar unas capas de silicio policristalino, tal como se describe en el documento "Bergmann y JH. Werner, The future of crystalline silicon films on foreign substrates - Thin Solid Films, 403-404, 162-169, 2002".

50 El aumento significativo del rendimiento de la conversión de las capas finas de silicio cristalizado necesita la utilización de técnicas de elaboración que ofrecen una fracción volumétrica cristalizada importante y unos granos de tamaño lo más grande posible. Los procedimientos de depósito habituales comprenden una fase de depósito de silicio amorfo o parcialmente cristalizado. El grado de cristalización depende de la temperatura de depósito. Los procedimientos de depósito habituales comprenden también una fase de cristalización del silicio amorfo mediante un tratamiento térmico comprendido entre 600°C y 1000°C (por ejemplo: TTH al vacío, TTH láser) o mediante la introducción de la película fina en un reactor específico (por ejemplo: plasma bajo hidrógeno, microondas, etc.).

55 Así, se utilizaron inicialmente diversas técnicas de depósito a altas temperaturas ($T > 650^{\circ}\text{C}$), de películas finas de silicio policristalino, que incluyen por ejemplo unos procedimientos en fase vapor y unos procedimientos de tratamientos térmicos en horno estático o por medio de un láser.

60 Sin embargo, estas técnicas de cristalización provocan unos problemas de inestabilidad de los sustratos a alta temperatura, o de interacción entre el sustrato y las películas finas.

65 Para obtener un depósito y una cristalización del silicio a bajas temperaturas ($T < 600^{\circ}\text{C}$), se conoce, a partir del documento EP 0 571 632, depositar silicio amorfo sobre vidrio mediante las técnicas de depósito químico en fase vapor (CVD) o de depósito químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD), a $T < 450^{\circ}\text{C}$, y después exponer la película fina en un campo eléctrico microondas de 400 W en presencia de hidrógeno. Se obtiene una película fina de silicio policristalino texturizada según una orientación preferente {110}.

El documento WO 2005/121414 A1 da a conocer un procedimiento de producción de un artículo multicapa con unos sustratos metálicos que comprenden níquel.

5 El documento "T. Matsuyama, N. Bada, T. Sawada, S. Tsuge, K. Wakisaka, S. Tsuda, High-quality polycrystalline silicon thin film prepared by a solid phase crystallisation method, J. of non-Crystalline Solids, 198-200, 940-944, 1996" da a conocer otra solución que consiste en depositar una primera película de silicio que sirve de capa de nucleación sobre cuarzo a 600°C mediante la técnica de depósito PECVD. La película obtenida está constituida por cristales de 0,1 µm de silicio depositados en el seno de la fase amorfa.

10 Una segunda película amorfa de silicio se deposita entonces mediante la técnica de depósito PECVD y se cristaliza por un tratamiento térmico a 600°C durante 10 h.

Se obtiene una película fina cristalizada de estructura columnar que presenta un rendimiento de conversión del 9,2%.

15 Otras soluciones para obtener unas capas finas policristalinas con un rendimiento de conversión elevado, consisten en realizar unas estructuras con granos de silicio orientados o epitaxiados.

20 El documento WO 96/17388 da a conocer un procedimiento muy conocido, que es la utilización de capas de cebado de silicio depositado en el estado amorfo y después cristalizado para servir de gérmenes de crecimiento epitáxico en la capa fina siguiente. Este procedimiento es un procedimiento multi-capas.

25 El documento US nº 5.340.410 da a conocer otra técnica que consiste en seleccionar una orientación {111} de los granos de silicio, por ataque químico selectivo de una película de silicio policristalino de granos gruesos (de 40 µm a 50 µm, obtenido por tratamiento térmico), en una solución de hidróxido de potasio. Se obtiene entonces una segunda película fina de silicio que presenta una orientación {111} mediante un procedimiento de depósito en fase líquida (solución de metal líquido sobresaturada en silicio).

30 Los métodos de depósito de la técnica anterior propuestos anteriormente no permiten resolver los problemas que se refieren al sustrato. Existen, en efecto, dos clases de sustratos empleados según la temperatura de elaboración.

Para el depósito de capas finas a base de silicio, ciertos sustratos utilizados tienen una temperatura de fusión elevada ($T > 1000^{\circ}\text{C}$): silicio, cuarzo, grafito, cerámicas, metales (por ejemplo titanio), aleaciones y aceros.

35 Otros sustratos necesitan una elaboración a baja temperatura de fusión ($T < 1000^{\circ}\text{C}$): polímeros y vidrio.

Como se ha visto anteriormente, estos sustratos presentan todos por lo menos un inconveniente principal para ser utilizados para la fabricación industrial de células fotovoltaicas.

40 Uno de los objetivos de la presente invención es por lo tanto proponer un sustrato, fino, no frágil, flexible, que tiene una temperatura de fusión elevada y unas características estructurales favorables para un crecimiento orientado o epitaxiado de las películas finas.

45 Otro objetivo de la presente invención es proponer un dispositivo formado por un sustrato metálico tal como se ha descrito anteriormente, y por una capa fina policristalina a base de silicio y de uso fotovoltaico.

Otro objetivo de la presente invención es proponer una célula y un módulo fotovoltaico con mayores prestaciones, que permitan atrapar más la luz y que presenten así un mejor rendimiento eléctrico.

50 Otro objetivo de la presente invención es también proponer un procedimiento de depósito de capas finas que permita evitar cualquier contaminación del silicio por el sustrato.

55 Para ello, la invención se refiere a un sustrato metálico texturizado cristalográficamente que comprende una superficie de conexión y una superficie destinada a recibir un depósito de capa fina, estando dicho sustrato metálico texturizado cristalográficamente constituido por una aleación que presenta un sistema cristalino cúbico de caras centradas y una textura cristalográfica en cubo {100} <001> mayoritaria, comprendiendo la superficie destinada a recibir el depósito de capa fina unos granos que presentan principalmente unos planos cristalográficos {100} paralelos a la superficie destinada a recibir un depósito de capa fina.

60 Se entiende por "textura cristalográfica" una orientación preferente de los cristales de la aleación con respecto al referencial del sustrato metálico. La textura se mide por difracción de los rayos X y está representada por unas figuras de polos, como se describe más adelante.

65 Según la invención, la aleación que constituye el sustrato metálico texturizado cristalográficamente es una aleación hierro-níquel cuya composición comprende, en % en peso con respecto al peso total de la aleación:

Ni ≥ 30%,
 Cu ≤ 15%,
 Cr ≤ 15%,
 Co ≤ 12%,
 Mn ≤ 5%,
 S < 0,0007%,
 P < 0,003%,
 B < 0,0005%,
 Pb < 0,0001%,

5

10

- los porcentajes en níquel, cromo, cobre, cobalto y manganeso son tales que la aleación satisface la condición siguiente:

$$34 \% \leq (\text{Ni} + \text{Cr} + \text{Cu}/2 + \text{Co}/2 + \text{Mn}), \text{ y}$$

15

- la aleación comprende hasta el 1% en peso de uno o varios elementos desoxidantes seleccionados de entre el silicio, el magnesio, el aluminio y el calcio, siendo el resto de los elementos que constituyen la aleación hierro e impurezas.

20

En diferentes modos de realización posibles, la presente invención se refiere asimismo a las características siguientes, que podrán ser consideradas aisladamente o según todas sus combinaciones técnicamente posibles y aportan cada una unas ventajas específicas:

25

- los porcentajes en níquel, cromo, cobre, cobalto y manganeso son tales que la aleación satisface la condición siguiente:

$$34 \% \leq (\text{Ni} + \text{Cr} + \text{Cu}/2 + \text{Co}/2 + \text{Mn}) \leq 54 \%,$$

30

siendo el coeficiente medio de dilatación, entre 20°C y 100°C, α_{20}^{100} de la aleación superior a 10^{-6}K^{-1} , y estando comprendido preferentemente entre 10^{-6}K^{-1} y $10 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$,

35

- la superficie destinada a recibir un depósito de capa fina del sustrato metálico texturizado cristalográficamente presenta una rugosidad R_a inferior a 150 nm, preferentemente inferior a 50 nm,

40

- el sustrato metálico texturizado cristalográficamente es fino, con un grosor comprendido entre 0,5 mm y 0,05 mm, preferentemente del orden de 0,1 mm,

- los granos sobre la superficie destinada a recibir un depósito de capa fina están grabados en forma de pirámide que presenta unos planos {111} y unos peldaños según los planos {100} con el fin de formar una red de tipo red de blaze.

45

El sustrato metálico texturizado cristalográficamente, según la invención, presenta las ventajas de ser fino, no frágil, flexible, con una temperatura de fusión elevada, un parámetro de malla próximo al del silicio y unos semiconductores a base de silicio, una rugosidad de superficie controlada antes del grabado químico, una geometría de superficie después del grabado químico que permite reducir la reflectividad del sustrato metálico texturizado cristalográficamente y una dilatación adaptada a la del silicio.

La invención se refiere asimismo a un dispositivo texturizado cristalográficamente.

50

Según la invención, comprende un sustrato metálico texturizado cristalográficamente, tal como se ha definido anteriormente, en el que se ha depositado una capa fina policristalina a base de silicio, presentando la capa fina policristalina una orientación cristalográfica preferente {100} y {111}.

55

Se entiende por "a base de silicio" una capa fina policristalina que puede comprender o bien prácticamente sólo silicio, silicio dopado o una composición que comprende silicio y otros elementos químicos (por ejemplo una capa fina de composición $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$).

60

La capa fina policristalina a base de silicio depositada sobre el sustrato presenta una fracción volumétrica de silicio cristalizado importante, una fracción volumétrica de granos gruesos de silicio significativa y unos granos de silicio orientados.

Una asociación de este tipo sustrato metálico texturizado cristalográficamente/capa fina policristalina a base de silicio, permite reducir considerablemente las cantidades de silicio utilizado.

65

La distribución de la luz en la capa fina de silicio está también mejorada.

En diferentes modos de realización posibles, la presente invención se refiere asimismo a las características siguientes, que se podrán considerar aisladamente o según todas sus combinaciones técnicamente posibles y que aportan cada una unas ventajas específicas:

- 5
- el parámetro de malla cristalina del sustrato metálico texturizado cristalográficamente es idéntico o casi idéntico al de la capa fina policristalina a base de silicio,
 - el coeficiente medio de dilatación de la aleación que constituye el sustrato metálico texturizado
- 10
- cristalográficamente es próximo al de la capa fina policristalina,
 - la capa fina policristalina a base de silicio presenta un grosor inferior a 10 μm , preferentemente inferior a 5 μm , y comprende unos cristales de silicio de dimensión comprendida entre 0,1 y 2 μm .

15 La capa fina policristalina a base de silicio depositada sobre el sustrato metálico texturizado cristalográficamente presenta una fracción volumétrica de silicio cristalizado importante, una fracción volumétrica de granos gruesos de silicio importante y unos granos de silicio orientados. La orientación de los granos presentes en la superficie del sustrato metálico texturizado cristalográficamente es recuperada en parte por el silicio.

20 Una asociación de este tipo sustrato metálico texturizado cristalográficamente/capa fina policristalina a base de silicio permite reducir considerablemente las cantidades de silicio utilizado (capa de grosor inferior a 5 μm).

Se mejora también la distribución de la luz en la capa fina policristalina de silicio.

25 El hecho de que el coeficiente medio de dilatación de la aleación hierro-níquel sea parecido al de la película fina policristalina a base de silicio permite limitar las tensiones térmicas generadas sobre la película policristalina a base de silicio en funcionamiento y aumentar la duración de vida de las células fotovoltaicas.

La invención se refiere también a una célula fotovoltaica.

30 Según la invención, comprende un dispositivo texturizado cristalográficamente, tal como se ha definido anteriormente.

35 En diferentes modos de realización posibles, la presente invención se refiere también a las características siguientes, que se podrán considerar aisladamente o según todas sus combinaciones técnicamente posibles y aportan cada una unas ventajas específicas:

- la célula fotovoltaica comprende:
 - 40 • un dispositivo texturizado cristalográficamente en el que:
 - el sustrato metálico texturizado cristalográficamente presenta un contenido en níquel igual al 41% en peso con respecto al peso total de la aleación que constituye el sustrato metálico,
 - 45 ■ el silicio de la capa fina de silicio está dopado,
 - una capa fina de silicio intrínseco policristalino depositada sobre el dispositivo texturizado cristalográficamente,
 - 50 • una capa fina de silicio policristalino dopado depositada sobre la capa fina de silicio intrínseco policristalino,
 - una capa fina de un óxido transparente conductor depositada sobre la capa fina de silicio policristalino dopado, y
 - 55 • una rejilla metálica depositada sobre la capa fina de óxido transparente conductor y que comprende varios elementos, entre ellos un elemento de rejilla central.
 - el dispositivo texturizado cristalográficamente y las diferentes capas finas son atravesados por un conector unido al elemento de rejilla central y que desemboca en el exterior de la célula fotovoltaica a través de la superficie de conexión del sustrato metálico texturizado cristalográficamente, estando dicho conector rodeado de un aislante que se extiende desde la superficie de conexión del sustrato metálico texturizado cristalográficamente hasta el elemento de rejilla central.
- 60

65 La invención se refiere también a un módulo fotovoltaico.

Según la invención, el módulo fotovoltaico comprende:

- una capa fina de polímero,
- 5 - dos capas finas de adhesivo termorreactivable, entre las cuales una primera y una segunda capas finas de adhesivo termorreactivable, siendo la primera capa fina de adhesivo termorreactivable depositada sobre la capa fina de polímero,
- 10 - una capa conductora formada por una pluralidad de células fotovoltaicas, tales como las definidas anteriormente, y por dos bandas de cobre dispuestas en los extremos respectivos de la capa conductora formada por una pluralidad de células fotovoltaicas, presentando dichas células fotovoltaicas una forma de bandas, y las dos bandas de cobre dispuestas entre las primera y segunda capas finas de adhesivo termorreactivable, paralelamente unas con respecto a las otras, inclinadas con respecto a las capas finas de adhesivo termorreactivable y solapándose de manera que formen una fila de células fotovoltaicas y de
- 15 - bandas de cobre en contacto según una dirección paralela a las capas finas de adhesivo termorreactivable, formando la pluralidad de células fotovoltaicas y las dos bandas de cobre una conexión en serie, y
- una capa fina de polimetilmetacrilato depositada sobre la segunda capa fina de adhesivo termorreactivable.

20 Según la invención, la célula y el módulo fotovoltaico tienen mayores prestaciones, y permiten atrapar más la luz. Un rayo luminoso que golpea ortogonalmente la célula o el módulo fotovoltaico tenderá a reflejarse y a quedar atrapado en la capa fina policristalina a base de silicio. Se mejora el rendimiento eléctrico de la célula o del módulo fotovoltaico. Para una misma cantidad de energía luminosa incidente sobre la superficie de la célula o del módulo fotovoltaico, la cantidad de energía eléctrica convertida y obtenida con una célula de este tipo o un módulo

25 fotovoltaico de este tipo es superior con respecto a la cantidad de energía eléctrica obtenida con una célula o un módulo fotovoltaico de la técnica anterior.

La invención se refiere asimismo a un procedimiento de depósito de capas finas a base de silicio sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente, tal como se ha definido anteriormente.

30 Según la invención, se realiza mediante un método de depósito químico en fase vapor (CVD), siendo la temperatura del plasma inferior a 300°C, preferentemente del orden de 200°C.

En diferentes modos de realización posibles, la presente invención se refiere también a las características siguientes, que se podrán considerar aisladamente o según todas sus combinaciones técnicamente posibles y que aportan cada una unas ventajas específicas:

- 35 - el método de depósito químico en fase vapor (CVD) es un método de depósito químico en fase vapor asistido por plasma de radiofrecuencia (RFPECVD), como el plasma comprende una mezcla gaseosa de silano, se ha utilizado en este caso el SiF₄, de hidrógeno y de argón, y siendo la potencia de radiofrecuencia utilizada del orden de 16 W.
- 40 - el crecimiento epitaxial del silicio se obtiene a partir de nanocristales de silicio sintetizados en el plasma.

45 El procedimiento de depósito de capas finas realizado a baja temperatura permite evitar cualquier contaminación del silicio por los elementos que constituyen el sustrato metálico texturizado cristalográficamente.

Se mejoran también los rendimientos de conversión.

50 El sustrato metálico texturizado cristalográficamente permite favorecer los mecanismos de crecimiento epitaxial u orientado con granos gruesos del silicio, directamente durante las fases de depósito.

La invención se describirá más en detalle en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 55 - la figura 1 representa una figura de polo {111} que es característica de la textura cristalográfica en cubo mayoritaria;
- la figura 2 representa una figura de polo {111} que es característica de la textura cristalográfica en cubo + macla/en cubo;
- 60 - la figura 3 representa una figura de polo {111} que es característica de la textura cristalográfica isotrópica;
- la figura 4 representa dos figuras de polos {111} de películas finas de silicio policristalino obtenidas según dos modos de realización diferentes de la invención;
- 65 - las figuras 5a y 5b representan unas observaciones con unos aumentos diferentes, realizadas con

microscopio electrónico de barrido, obtenidas después del grabado químico de la superficie de un sustrato metálico texturizado cristalográficamente que comprende una aleación hierro-níquel con el 41% de níquel;

- 5 - la figura 6 representa un dispositivo texturizado cristalográficamente que comprende un sustrato metálico texturizado cristalográficamente que ha sufrido un grabado químico;
- la figura 7 representa la distribución de las cavidades piramidales después del grabado químico de la superficie del sustrato;
- 10 - la figura 8 representa una célula fotovoltaica, según un modo de realización de la invención;
- la figura 9 representa una célula fotovoltaica de contacto trasero, según otro modo de realización de la invención;
- 15 - la figura 10 representa un módulo fotovoltaico, según un modo de realización de la invención;
- la figura 11 representa una banda de sustrato metálico texturizado cristalográficamente que comprende unos surcos grabados;
- 20 - la figura 12 representa un modo de realización de depósito de capas finas por descomposición química de los gases reactivos en un plasma de descarga a baja temperatura;
- la figura 13 representa una ampliación de la zona de crecimiento del silicio sobre la capa fina policristalina durante el modo de realización.

25 La invención se refiere a un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que comprende una superficie de conexión 2 y una superficie 3 destinada a recibir un depósito de capa fina, como se ha representado en la figura 6. El sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 está constituido por una aleación que presenta un sistema cristalino cúbico de caras centradas y una textura cristalográfica en cubo {100} <001> mayoritaria. La superficie destinada a recibir el depósito de capa fina 3 comprende unos granos 4 que presentan principalmente unos planos cristalográficos {100} paralelos a la superficie 3 destinada a recibir un depósito de capa fina. La aleación que constituye el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 debe tener una energía de defecto de apilamiento elevada.

35 Según un ejemplo de modo de realización de la invención, la aleación que constituye el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 es una aleación hierro-níquel que comprende por lo menos el 30% de níquel y que puede comprender unos elementos de sustitución del níquel, tales como el cromo, el cobre, el cobalto o el manganeso. Estos elementos deben respetar la relación siguiente:

40
$$34\% \leq (\text{Ni} + \text{Cr} + \text{Cu}/2 + \text{Co}/2 + \text{Mn}) ;$$

Los contenidos en elementos de sustitución del níquel están, por otra parte, limitados de la siguiente manera: el contenido en cobre es inferior o igual al 15% en peso, el contenido en cromo es inferior o igual al 15% en peso, el contenido en cobalto es inferior o igual al 12% en peso, y el contenido en manganeso es inferior o igual al 5% en peso.

45 De manera preferida, los contenidos en níquel, cromo, cobre, cobalto y manganeso son tales que:

50
$$34\% \leq (\text{Ni} + \text{Cr} + \text{Cu}/2 + \text{Co}/2 + \text{Mn}) \leq 54\% ;$$

La aleación así definida presenta un coeficiente medio de dilatación α_{20}^{100} , entre 20°C y 100°C, superior a 10^{-6} K^{-1} , y preferentemente comprendido entre 10^{-6} K^{-1} y $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

55 La aleación puede comprender también hasta el 1% de elementos de desoxidación seleccionados de entre el silicio, el magnesio, el aluminio y el calcio.

La aleación puede comprender también unos elementos químicos residuales que resultan de la elaboración. El contenido en elementos químicos residuales debe estar reducido al mínimo y no exceder el 1% en peso con respecto al peso total de la aleación. Las impurezas están constituidas por los elementos químicos siguientes:

60
$$(\text{Ti} + \text{Mo} + \text{W} + \text{Nb} + \text{Ta} + \text{V}) \leq 1\% ;$$

5 Los elementos conocidos por afectar a la solidificación y a la transformación en caliente de las aleaciones hierro-níquel deben estar también reducidos al mínimo. El contenido en azufre debe ser inferior al 0,0007% en peso con respecto al peso total de la aleación. El contenido en fósforo debe ser inferior al 0,003% en peso con respecto al peso total de la aleación. El contenido en boro debe ser inferior al 0,0005% en peso con respecto al peso total de la aleación. Y el contenido en plomo debe ser inferior al 0,0001% en peso con respecto al peso total de la aleación.

10 En la continuación de la descripción se describe el procedimiento de fabricación del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1.

10 Los documentos "Recrystallisation and related annealing phenomena - F.J. Humphreys, M. Hatherly - ed. Pergamond, p. 328, 1995" y EP 0 792 943 describen unos procedimientos de elaboración de sustratos metálicos texturizados cristalográficamente.

15 Se conoce a partir de estos documentos que la textura cristalográfica de recristalización en cubo {100} <001> se desarrolla en las aleaciones que tienen un sistema cristalino cúbico de caras centradas (cfc), de media y fuerte energía de defecto de apilamiento. Se identifican claramente varios factores favorables al desarrollo de la textura cristalográfica en cubo:

- 20 • el sustrato metálico texturizado cristalográficamente debe sufrir una tasa de deformación por laminado en frío muy elevada, por lo menos superior al 80%, y preferentemente superior al 90%. La textura cristalográfica en cubo es tanto más intensa cuanto más elevada es la tasa de deformación antes del tratamiento térmico;
- 25 • es necesario un tratamiento térmico de recristalización primaria del sustrato metálico texturizado cristalográficamente muy endurecido;
- 30 • las concentraciones en elementos químicos residuales tales como el titanio, el molibdeno, el tungsteno, el niobio, el tántalo o el vanadio en la aleación deben ser inferiores al 1%. El contenido crítico depende del elemento químico considerado;
- el tamaño de los granos antes de la deformación severa debe ser lo más fino posible;
- por último, la temperatura de laminado debe ser superior a la temperatura ambiente.

35 El procedimiento de fabricación del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1, según un ejemplo de realización de la invención, comprende una etapa de elaboración de la aleación que constituye el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1.

40 La aleación que constituye el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 está elaborada en un horno eléctrico de arco, fundida en lingotes o directamente en forma de planchones por medio de una colada continua de planchones. Tanto los lingotes como los planchones se transforman en caliente de manera que se obtengan unas bandas en caliente cuyo grosor está comprendido entre 1,5 mm y 13 mm.

45 Las bandas en caliente son decapadas y pulidas para obtener unas bobinas que presentan una superficie sin defectos, es decir: sin calamina, sin penetración oxidada, sin paja, homogénea en grosor en el sentido transversal y en el sentido longitudinal de las hojas de aleación.

50 El procedimiento de fabricación del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 comprende también una etapa de laminado y texturización cristalográfica de las bandas.

50 Las bandas en caliente son transformadas por laminado en frío. La tasa de reducción $\epsilon = (e_i - e_f) / e_i$, en la que e_i y e_f son respectivamente el grosor inicial y el grosor final de las hojas de aleación, debe ser superior al 85%, y preferentemente $\epsilon > 90\%$. Esta tasa de deformación severa antes del tratamiento térmico es indispensable para preparar la microestructura de la aleación. Se obtiene así una hoja de aleación muy endurecida cuyo grosor está comprendido entre 0,05 mm y 1 mm. Cualquier procedimiento de deformación severa por laminado en frío simétrico o asimétrico (es decir con velocidades circunferenciales de los cilindros de trabajo del laminador idénticas o diferentes) que produce una deformación superior al 90% es aplicable para desarrollar la textura cristalográfica en cubo, y más particularmente el procedimiento descrito en el documento "Ultra-Grain refinement of 36%Ni steel by accumulative roll-bonding process - K. Inoue, N. Tsuji, Y. Saito - International symposium on Ultrafine Grained Steels (ISUGS 2001) 126-129 - The Iron and Steel Institute of Japan".

60 El procedimiento de fabricación del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 comprende también una etapa de transferencia de rugosidad.

65 El procedimiento siguiente se cita como ejemplo, no único, de realización.

La rugosidad de las hojas de aleación se controla durante las pasadas de laminado. Se realiza por ejemplo a partir de una banda laminada en caliente de 3 mm de grosor, una hoja de aleación endurecida del 95%, es decir que tiene un grosor final de 0,15 mm.

- 5 El laminado en frío se realiza, por ejemplo, en 13 pasadas de 20% por un laminador reversible con unos cilindros de baja rugosidad. Al final de cada pasada, la rugosidad de la hoja de aleación no excede de 200 nm.

10 La 14ª pasada de laminado es la que realiza la transferencia de rugosidad deseada. La tasa de reducción es inferior al 20%, y más precisamente inferior al 7%, se denomina "skin-pass". Esta última pasada se realiza con un cilindro de rugosidad muy baja para obtener la rugosidad R_a prevista ($R_a \sim 30$ nm).

El procedimiento de fabricación del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 comprende también una etapa de texturización cristalográfica de las bandas.

- 15 Después del laminado en frío, la hoja de aleación se somete a un tratamiento térmico (TTH) de recristalización primaria, bajo atmósfera protectora, de manera que desarrolle la textura cristalográfica en cubo $\{100\} \langle 001 \rangle$ buscada, sin oxidar la superficie de la banda.

20 El tratamiento térmico se puede realizar en un horno estático o en un horno en desplazamiento, con hidrógeno o al un vacío primario. El par tiempo t , temperatura $T^\circ\text{C}$, se debe ajustar para desarrollar una textura cristalográfica en cubo intensa y poco desorientada. Si la temperatura es demasiado elevada (por ejemplo: $T > 1100^\circ\text{C}$) o si la duración es demasiado larga (por ejemplo 6 h a 1080°C), el tratamiento térmico puede generar una recristalización secundaria que destruye la componente en cubo buscada en detrimento de otras componentes aleatorias indeseables. Los tratamientos térmicos tipos son:

- 25
- T = 1050°C , $t = 0,2$ min a $t = 2$ min;
 - T = 1000°C , $t = 0,5$ min a $t = 60$ min;
 - T = 950°C , $t = 2$ min a $t = 200$ min;
 - T = 900°C , $t = 8$ min a $t = 600$ min.
- 30

Al final del tratamiento térmico final, la hoja de aleación presenta una textura cristalográfica en cubo intensa y poco desorientada, con un tamaño de granos comprendido entre $1 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$, y una rugosidad media R_a inferior a 50 nm, que permite la utilización directa de la aleación después de un simple desengrasado.

- 35 La hoja de aleación se aplanada y se cizalla entonces a la anchura determinada por el procedimiento de depósito del silicio.

Se obtiene un sustrato metálico 1 que presenta una textura cristalográfica en cubo $\{100\} \langle 001 \rangle$ intensa y poco desorientada.

- 40 La representación de una textura cristalográfica vuelve a definir la orientación de los granos con respecto al referencial de muestra constituida, en el caso de un sustrato que ha sufrido una gama de laminado en frío, por la dirección de laminado (DL), la dirección transversal (DT) y la dirección normal (DN).

- 45 Las orientaciones o componentes de texturas cristalográficas están descritas por los índices de Miller $\{hkl\} \langle uvw \rangle$, en los que $\{hkl\}$ designa la familia de planos cristalográficos de granos paralelos al plano de laminado, y $\langle uvw \rangle$ la familia de direcciones cristalográficas de los granos paralelos a la dirección de laminado.

50 Una textura cristalográfica se describe generalmente por difracción de los rayos X según el método en reflexión de Schultz. La muestra se coloca en el centro de un goniómetro de textura cristalográfica en posición de difracción, a un ángulo de Bragg Θ , que corresponde a las condiciones de difracción de una familia de planos $\{hkl\}$. Se somete entonces a las rotaciones ψ (eje paralelo a DT) y ϕ (eje paralelo a DN). En posición ψ y ϕ dados, la intensidad del haz recogido por el contador RX es proporcional al número de granos cuyos planos $\{hkl\}$ están en condición de difracción. Haciendo variar ψ de 0° a 90° y ϕ de 0° a 360° , se miden todas las componentes de la textura cristalográfica.

55 La textura cristalográfica del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 está entonces representada en forma de figuras de polos por medio de las proyecciones estereográficas de las distribuciones de densidades de las normales en los planos $\{hkl\}$ difractantes.

- 60 La textura cristalográfica del sustrato se caracteriza por la presencia de una componente en cubo casi única, intensa y poco desorientada. La componente en cubo casi única está asociada generalmente a la componente $\{221\} \langle 122 \rangle$, denominada macla/en cubo, y que debe ser minimizada.

- 65 Las figuras 1 a 3 muestran unos ejemplos de figuras de polos $\{111\}$ medidas sobre unos sustratos metálicos de aleación hierro-níquel con sistema cristalino cúbico de caras centradas que comprende un contenido del 41% de

níquel con respecto al peso total de la aleación.

5 La figura 1 representa una figura de polo {111} que es característica de la textura cristalográfica en cubo mayoritaria buscada. La figura 2 representa una figura de polo {111} que es característica de la textura cristalográfica en cubo + macla/en cubo, y la figura 3 representa una figura de polo {111} que es característica de una textura cristalográfica isotrópica.

10 La figura 1 muestra la presencia de polos {111} 5 de la textura cristalográfica en cubo {100} <001> mayoritaria, intensa y poco desorientada. En las mismas condiciones de medición, la figura 2 muestra el caso en el que la componente macla/en cubo {221} <122> 6 no es despreciable con respecto a la componente en cubo menos intensa y más desorientada. La figura 3 muestra un ejemplo de estructura isotrópica caracterizada por la presencia de todas las orientaciones posibles distribuidas uniformemente. Las figuras 2 y 3 son aquellas a evitar.

15 El carácter único e intenso de la textura cristalográfica en cubo puede ser cuantificada por la relación: $R = I_c/I_{mc}$. I_c es la intensidad máxima difractada por los planos {111} cerca de la orientación ideal (001) [100]: $\psi \sim 54,74^\circ$ y $\phi \sim 45^\circ$. I_{mc} es la intensidad máxima difractada por los planos {111} cerca de la orientación ideal (122) [221]: $\psi \sim 15,79^\circ$ y $\phi \sim 13,63^\circ$.

20 La relación $R = I_c/I_{mc}$ debe ser lo más elevada posible ($R > 10$).

La desorientación de la textura cristalográfica en cubo puede ser obtenida por la medición de la anchura a media altura de las intensidades difractadas por los planos {111} cerca de la orientación ideal (001) [100], es decir en $\psi \sim 54,74^\circ$ y $\phi \sim 45^\circ$, cuando se hace variar el ángulo ψ en $\pm\Delta\psi$ y ϕ en $\pm\Delta\phi$.

25 La desorientación total en ϕ medida a media altura debe ser: $\delta\phi < 20^\circ$. La desorientación total en ψ medida a media altura debe ser: $\delta\psi < 20^\circ$.

30 La figura de polo 1 se proporciona para un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que presenta una relación $R = 18,5$, $\delta\phi = 11,5^\circ$ y $\delta\psi = 11,9^\circ$, una tasa de endurecimiento del 91% y un grosor de 0,15 mm.

La rugosidad media R_a del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 debe ser baja. La rugosidad es el estado microgeométrico de la superficie.

35 Medida por medio de un rugosímetro, la rugosidad media R_a se define mediante la expresión:

$$R_a = \frac{1}{L_0} \int_0^l |Z(x)| \cdot dx$$

40 El sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 debe tener una rugosidad media medida en el sentido transversal muy baja: $R_a < 150$ nm y preferentemente inferior a 50 nm.

El tamaño de los granos de la superficie del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 es superior a 1 μ m.

45 El sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 es fino con un grosor comprendido entre 0,5 mm y 0,05 mm, preferentemente del orden de 0,1 mm.

50 La invención se refiere asimismo a un dispositivo texturizado cristalográficamente 13 que comprende un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1, tal como se ha definido anteriormente, en el que se ha depositado una capa fina policristalina a base de silicio 11 (Si o Si_xGe_{1-x} por ejemplo). Un dispositivo de este tipo texturizado cristalográficamente 13 está representado en la figura 6. El dispositivo texturizado cristalográficamente 13 está destinado a la fabricación de células fotovoltaicas o para depositar unas capas de silicio para crear unos dispositivos semi-conductores. Más precisamente, la capa fina policristalina a base de silicio 11 se deposita sobre la superficie 3 del sustrato destinado a recibir un depósito de capa fina. En esta figura, se representa un conjunto de capas finas 40, que se describirán más adelante, que comprende, entre otros, la capa fina policristalina a base de silicio 11 que está en contacto con el sustrato metálico.

55 La capa fina policristalina a base de silicio 11 presenta una orientación preferente {100} y {111}.

60 La capa fina policristalina a base de silicio 11 puede ser depositada por epitaxia, que es un mecanismo conocido de crecimiento cristalino con disposición de los átomos. El sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 se utiliza como germen de crecimiento de la película fina 11 a medida que se aportan los átomos o los nanocristales de silicio. El crecimiento epitaxial es posible en general sólo si hay concordancia de malla entre el sistema cristalino depositado (en este caso, el silicio) y el del sustrato 1 (en este caso, el sustrato de aleación hierro-níquel). Las condiciones habituales de epitaxia son: mismo sistema cristalino (en este caso, el sistema cúbico de caras centradas

del silicio) y parámetros de malla muy próximos. La discrepancia D entre los parámetros de malla, definida por la expresión siguiente, debe ser inferior al 3%:

$$D = 100 \times (a_{\text{sustrato}} - a_{\text{silicio}}) / a_{\text{silicio}}$$

5 en la que a es el parámetro de malla.

10 En presencia de epitaxia, la textura cristalográfica de la película fina 11 es aproximadamente idéntica a la del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1. Según la técnica anterior, la epitaxia se realizaba a alta temperatura. Se verá más adelante que el procedimiento de depósito de silicio, según la invención, permite realizar una epitaxia a 200°C.

15 Si la diferencia de los parámetros de malla es superior al 3%, pero inferior al 20%, puede haber crecimiento orientado de la película fina 11. En este caso, los granos de la película fina 11 presentan un plano cristalográfico (hkl) paralelo a la superficie del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1. Como los granos de la película fina 11 están desorientados en el plano de sustrato 1, la figura de polos que representa la textura cristalográfica de la película fina es entonces un anillo, como lo muestra la figura 4. Se dice que la capa fina tiene una orientación {hkl}.

20 La figura 4 representa las figuras de polos {111} de películas finas de silicio policristalino 11 obtenidas según dos modos de realización de la invención.

25 La figura de polos {111} en la parte alta de la figura corresponde a un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que no ha sufrido ningún grabado químico.

La figura de polos {111} en la parte baja de la figura corresponde a un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que ha sufrido un grabado químico, tal como se describe más adelante.

30 Las figuras de polos {111} revelan la presencia de una película fina de silicio texturizado. Los anillos 7, 8 (el primero, 8, en el centro en $\psi = 0^\circ$, el segundo, 7, en $\psi = 54,8^\circ$) traducen una orientación preferente de los granos de silicio caracterizada por las direcciones <111> y <100> perpendiculares o los planos (111) y (100) paralelos a la superficie del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1. Los granos están desorientados en el plano del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1.

35 El depósito sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que no ha sufrido ningún grabado químico, favorece las orientaciones {111} y {100}. El depósito sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que ha sufrido un grabado químico favorece la orientación {100}.

40 Para obtener unos resultados de este tipo, el sustrato 1 de aleación hierro-níquel debe presentar las dos características siguientes:

- un sistema cristalino cúbico de caras centradas;
- una discrepancia limitada, $D < 20\%$;

45 Es posible obtener unas capas finas policristalinas a base de silicio 11 que tienen una fracción volumétrica de silicio del 58% en volumen para unos granos de tamaño inferior a 0,1 μm y una fracción volumétrica de silicio del 42% para tamaños de granos comprendidos entre 0,1 μm y 1 μm .

50 La tabla siguiente proporciona algunos ejemplos de parámetros para capas finas 11 obtenidas con diferentes sustratos metálicos texturizados cristalográficamente 1.

Aleación	Numeración de las finas películas	Anisotropía cristalina		Rugosidad R_a (nm)
		Intensidad: R	Desorientación: $(\delta\phi + \delta\phi)/2$	
Fe-41 Ni	1	18,5	11,7	21
	2			
Fe-41Ni	3	Isótropo		100
Fe-41Ni	4	Isótropo		20
Fe-48Ni	5	20,5	11,2	100
Ni-4W	6	8	30	100
Fe-33Ni-2Cr-3Cu	7	11	15	100

Se obtienen buenos resultados para la capa fina nº 1 que presenta una rugosidad R_a de 21 nm, una relación R de 18,5 y una desorientación de 11,7°.

55

La aleación que constituye el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 debe presentar un coeficiente de dilatación próximo al del silicio, entre -25°C y +150°C.

5 El grosor del sustrato 1 de aleación es del orden de 100 µm, mientras que el de la película fina 11 es inferior a 5 µm. El sustrato 1 impone por lo tanto al silicio sus variaciones de longitudes debidas a la dilatación térmica. Si no se toma ninguna precaución para adaptar el coeficiente de dilatación del sustrato 1 al del silicio, la película fina 11 puede sufrir dos tipos de daños que degradan las propiedades optoelectrónicas: una descohesión de la película fina 11 que puede generar un desprendimiento del depósito de silicio, fisuras de la película fina 11 cuando el sustrato 1 la somete a tensiones de tracción y la aparición de dislocaciones en la capa fina de silicio 11.

10 Las capas finas de silicio 11 se depositan a temperaturas superiores a 100°C. Además, la temperatura de funcionamiento de las células o módulos fotovoltaicos está comprendida entre -50°C y +100°C. Por lo tanto, se recomienda que el coeficiente medio de dilatación del sustrato 1 sea superior o igual al del silicio ($\alpha_{si} \sim 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) de manera que se conserve la capa fina 11 en compresión durante su utilización.

15 El coeficiente medio de dilatación α_{20}^{100} del sustrato 1 de aleación entre 20°C y 100°C debe ser superior a 10^{-6} K^{-1} , y estar comprendido preferentemente entre 10^{-6} K^{-1} y $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

20 La capa fina policristalina a base de silicio 11 presenta un grosor inferior a 5 µm, preferentemente comprendido entre 2 y 3 µm, y comprende unos cristales de silicio de dimensión comprendida entre 0,1 µm y 2 µm.

25 Según otro modo de realización posible de la invención, la superficie 3 del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1, destinada a recibir un depósito de capa fina, puede sufrir un grabado químico antes de la etapa de depósito de la capa fina policristalina a base de silicio 11.

30 La textura cristalográfica en cubo del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 ofrece una estructura comparable a la de un monocristal. Los granos cuyo tamaño es próximo a 10 µm (GASTM = 10) están aproximadamente todos orientados de manera similar, ya que la desorientación buscada entre los granos es inferior a 20°.

35 Esta textura cristalográfica en cubo caracterizada por la familia de planos {100} paralelos a la superficie 3 destinada a recibir un depósito de capa fina, y la dirección <001> paralela a la dirección de laminado es propicia para la fabricación de figuras de ataques químicos orientadas, como lo muestran las observaciones realizadas con el microscopio electrónico de barrido, representadas en las figuras 5a y 5b con unos aumentos diferentes, y obtenidas sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que comprende una aleación hierro-níquel que contiene el 41% de níquel. La figura 5a, situada a la izquierda, representa una ampliación de la figura 5b.

40 El procedimiento de grabado químico permite mejorar las prestaciones de las células fotovoltaicas en una capa fina, aumentando las posibilidades de atrapar la luz en las capas de silicio ("light trapping").

45 Es posible entonces controlar la reflexión de la luz sobre la cara trasera metálica de aleación hierro-níquel utilizando la simetría particular de la textura cristalográfica en cubo y la aptitud del sustrato metálico 1 para ser grabado por ataque químico selectivo de los planos cristalográficos: la cinética de ataque químico de los planos {100} es más elevada que la de los planos {111}.

50 El grabado se puede realizar en templado, mediante el paso del sustrato metálico 1 entre dos rodillos durante un tiempo comprendido entre 0,1 y 1 min, en un baño termostataado entre 15°C y 35°C y que contiene por ejemplo una solución de diversos cloruros:

- 0,1% de cloruro de litio;
- 0,1% de cloruro de tetrametilamonio;
- 2% de trietanolamina.

55 Al final del grabado, el sustrato metálico 1 se aclara abundantemente en varios baños y se seca a una temperatura comprendida entre 100°C y 200°C, siempre según un procedimiento en desplazamiento. Es importante haber aclarado suficientemente la superficie 3 del sustrato 1 con el fin de evitar cualquier corrosión por los cloruros. El sustrato metálico 1 puede ser engrasado, en cuyo caso deberá ser desengrasado antes del depósito de la película fina 11.

60 Teniendo en cuenta la orientación de los granos texturizados 4, el resultado es una superficie 3 de sustrato constituida por pirámides invertidas, como se representa en la figura 6, de algunos micrómetros de altura, en la que se puede construir una célula fotovoltaica constituida por una capa de silicio cristalino 11. La superficie de la célula fotovoltaica 9 está asimismo representada en la figura 6.

65 Se obtiene entonces un tipo de red compuesta por los planos cristalinos atacada preferentemente. La superficie 3 presenta unos planos {111}, lo cual genera unos tipos de conos en superficie. Los granos 4 presentan una forma de

pirámide que presenta unos planos {111} y que comprende unos peldaños 12 según los planos {100} de manera que formen una red de tipo red de blaze ("blazed grating").

5 Se conjugan dos efectos. En primer lugar, la reflexión sobre los bordes de las cavidades piramidales 10 que contribuye a modificar el libre recorrido medio de la luz en la capa de silicio 11. Un rayo luminoso que golpea ortogonalmente la célula fotovoltaica tendrá tendencia a reflejarse y a quedar atrapado en la capa de silicio 11.

10 En segundo lugar, la difracción sobre los bordes de los orificios que representan unos pequeños peldaños 12 que resultan del grabado diferencial. Se obtiene entonces una difracción de la luz de tipo red de blaze. Esta red favorece la reflexión de la luz en los órdenes de interferencia superiores, que corresponden a una fuerte inclinación de los rayos luminosos, más que una reflexión ortogonal de los rayos luminosos.

15 Como se muestra en la figura 7, las cavidades piramidales 10 están repartidas como los granos de aleación 4 y por lo tanto de manera aleatoria, lo cual mejora la distribución de la luz en la capa fina de silicio 11.

El fenómeno de red de blaze tiende a mantener las fuertes longitudes de onda en la capa de silicio 11.

20 Esta técnica permite hacer difractar los fotones sobre la superficie de la red así creada y atraparlos en las capas de silicio 11.

La estructuración de la superficie de la capa de silicio 11 permite atenuar la reflectividad del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1.

25 La invención se refiere asimismo a una célula fotovoltaica que comprende un dispositivo texturizado cristalográficamente 1, tal como se ha descrito anteriormente.

30 Según un modo de realización posible de la invención, la célula fotovoltaica comprende un dispositivo texturizado cristalográficamente 13 en el que el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 presenta un contenido en níquel igual al 41% en peso con respecto al peso total de la aleación que constituye el sustrato metálico. El silicio de la capa fina de silicio policristalino 11 puede estar dopado. Puede ser dopado con P o N, o bien con fósforo, o bien con boro, según el tipo de diodo deseado (PIN o NIP).

35 La célula fotovoltaica comprende también una capa fina de silicio intrínseco policristalino 14, no dopado, depositada sobre el dispositivo texturizado cristalográficamente 13, una capa fina de silicio policristalino dopado 15, depositada sobre la capa fina de silicio intrínseco policristalino 14, una capa fina de un óxido transparente conductor 16 depositada sobre la capa fina de silicio policristalino dopado con boro 15, y una rejilla metálica 17 dispuesta sobre la capa fina de un óxido transparente conductor 16, y que comprende varios elementos, uno de ellos un elemento de rejilla central 18.

40 El silicio de la capa fina de silicio policristalino dopado 15 puede ser dopado N o P, o bien con fósforo, o bien con boro, según el tipo de diodo deseado (PIN o NIP).

45 La capa fina de un óxido transparente conductor 16 puede ser una capa de óxido de indio-estaño (ITO), de ZnO o SnO₂, por ejemplo.

Las capas dopadas son muy finas con respecto al grosor de la capa fina de silicio intrínseco policristalino 14.

50 El silicio de la capa de silicio 11 es masivamente cristalino, siendo la parte de silicio amorfo inferior al 1%. Además, el silicio tiene una orientación preferente: los granos están orientados con sus planos {111} y {100} paralelos a los planos de la aleación hierro-níquel muy texturizada.

55 Un modo de ensamblaje posible consiste en recortar unas placas de célula fotovoltaica, por ejemplo cuadradas y en conectar la superficie superior sobre la superficie inferior de la célula fotovoltaica siguiente utilizando unas zonas planas de cobre.

60 Según otro modo de realización posible de la invención, el dispositivo texturizado cristalográficamente 13 y las diferentes capas finas 14 a 16 de la célula fotovoltaica son atravesados por un conector 19, como se representa en la figura 9. El conector 19 está unido al elemento de rejilla central 18 y desemboca en el exterior de la célula fotovoltaica a través de la superficie de conexión 2 del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1.

El conector 19 está rodeado por un aislante 20 que se extiende desde la superficie de conexión 2 del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 hasta el elemento de rejilla central 18.

65 Una célula fotovoltaica de este tipo se denomina célula fotovoltaica de contacto trasero. Las dos conexiones están situadas en el mismo lado de la célula fotovoltaica, es decir en el lado de la cara trasera de la célula fotovoltaica y más precisamente en el lado de la superficie de conexión 2 del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1.

El sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 está conectado negativamente (conexión negativa) y el conector 19 está conectado positivamente (conexión positiva).

5 Es posible proceder según el procedimiento de fabricación siguiente, y que comprende una etapa de laminado y texturización de la aleación hierro-níquel.

10 El procedimiento de fabricación comprende también una etapa de grabado químico de orificios en la superficie del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1. Se protegen las zonas que no deben ser grabadas. La técnica utilizable es la empleada para fabricar unos "shadow-masks" de tubos de rayos catódicos.

Otra etapa consiste en limpiar la superficie texturizada no grabada mediante las técnicas conocidas.

Después, se deposita silicio según el método descrito anteriormente y se fabrica una superficie fotovoltaica.

15 Los orificios que contienen también unas capas de silicio se limpian a continuación por chorro de arena: basta con darle la vuelta al sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 y grabarlo utilizando el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 como máscara.

20 Los orificios están aislados, basta con serigrafiar la cara trasera de la célula fotovoltaica sin depósito de silicio con la ayuda de un polímero frágil (que podrá ser limpiado por chorro de arena).

Y después, con la ayuda de una boquilla, se limpia por chorro de arena un orificio en la zona aislante.

25 Se serigrafía un conductor sobre la capa fina de óxido de indio-estaño 16 que rellenará los orificios y reenviará, en la cara trasera de la célula fotovoltaica, los electrones recolectados por la capa fina de óxido de indio-estaño 16.

Las zonas de recorte del metal están limpiadas por chorro de arena.

30 Después, el metal se recorta mediante unas técnicas convencionales. Se obtienen entonces unas células fotovoltaicas de silicio de contacto trasero que pueden ser utilizadas como los "wafers" convencionales para la fabricación de módulos fotovoltaicos.

35 La invención se refiere asimismo a un módulo fotovoltaico que comprende una serie de células fotovoltaicas 31 que se presentan cada una en forma de una banda de dimensión del orden de 20 mm de anchura, como se representa en la figura 10.

Las células fotovoltaicas de la técnica anterior comprenden unos sustratos en forma de bandas de gran anchura, que son generalmente unas placas de 15x15 cm.

40 Para obtener unas fuentes de energía de acuerdo con las necesidades, se necesita concebir una estructura que genere una diferencia de potencial de varios voltios, por ejemplo de 12 voltios.

45 Ahora bien, la tensión de circuito abierto del diodo de silicio es del orden de 0,5 voltios. Una solución consiste en poner en serie varias bandas de células fotovoltaicas 31 para alcanzar la tensión dada.

50 El módulo fotovoltaico formado por células fotovoltaicas en forma de banda 31 comprende una capa fina de polímero 21 y dos capas finas de adhesivo termorreactivable (EVA) 22, 23, entre las cuales una primera 22 y una segunda 23 capas finas de adhesivo termorreactivable. La primera capa fina de adhesivo termorreactivable 22 se deposita sobre la capa fina de polímero 21.

El módulo fotovoltaico comprende también una capa conductora 24 formada por una pluralidad de células fotovoltaicas en forma de banda 31, y por dos bandas de cobre 25 dispuestas en los extremos respectivos de la capa conductora 24.

55 Las células fotovoltaicas en forma de banda 31 y las dos bandas de cobre 25 están dispuestas entre las primera 22 y segunda 23 capas finas de adhesivo termorreactivable, paralelamente unas con respecto a las otras, inclinadas con respecto a las capas finas de adhesivo termorreactivable 22, 23 y solapándose de manera que formen una fila según una dirección paralela a las capas finas de adhesivo termorreactivable 22, 23.

60 La pluralidad de células fotovoltaicas en forma de banda 31 y las dos bandas de cobre 25 forman una conexión en serie.

65 Cada célula fotovoltaica en forma de banda 31 está en contacto cerca de cada uno de sus extremos respectivos con otra célula fotovoltaica en forma de banda 31, salvo las dos células fotovoltaicas en forma de banda 31 situadas en el extremo de la capa conductora 24 que están cada una en contacto con una sola célula fotovoltaica en forma de banda 31 cerca de uno de sus extremos y con una banda de cobre 25 cerca del otro de sus extremos.

- 5 La serie de bandas de células fotovoltaicas en forma de banda 31 y las dos bandas de cobre 25 están dispuestas de manera que formen como una sucesión de "dominós" derribados. Cada célula fotovoltaica en forma de banda 31 comprende una cara delantera 26 y una cara trasera 27, así como unos primer 28 y segundo 29 extremos.
- 5 Cada cara trasera 27 de una célula fotovoltaica en forma de banda 31 está en contacto con la primera capa fina de adhesivo termorreactivable 22, cerca de su primer extremo 28.
- 10 Cada cara trasera 27 de una célula fotovoltaica en forma de banda 31 está en contacto con otra célula fotovoltaica en forma de banda 31, cerca de su segundo extremo 29.
- 15 Cada cara delantera 26 de una célula fotovoltaica en forma de banda 31 está en contacto con otra célula fotovoltaica en forma de banda 31, cerca de su primer extremo 28.
- 20 Cada cara delantera 26 de una célula fotovoltaica en forma de banda 31 está en contacto también con la segunda capa fina de adhesivo termorreactivable 23, cerca de su segundo extremo 29.
- 20 Las dos bandas de cobre 25 dispuestas en los extremos respectivos de la capa conductora 24 permiten que el módulo fotovoltaico sea conectado lateralmente.
- 25 El módulo fotovoltaico comprende también una capa fina de polimetilmetacrilato (PMMA) 30 depositada sobre la segunda capa fina de adhesivo termorreactivable 23.
- 25 La capa fina de óxido de indio-estaño 16 de las células fotovoltaicas en forma de banda 31 es transparente y conductora.
- A continuación, se describe el procedimiento de fabricación del módulo fotovoltaico.
- 30 Una primera capa de adhesivo termorreactivable (EVA) 16 se deposita sobre la banda de polímero 21.
- 30 Las células fotovoltaicas en forma de banda 31 se depositan paralelamente sobre la banda de polímero 21 que asegura el aislamiento eléctrico. La banda de polímero 21 puede ser poliimida o polimetilmetacrilato (PMMA), por ejemplo.
- 35 Las células fotovoltaicas en forma de banda 31 se ponen en recubrimiento en una distancia de 5 mm aproximadamente. Los contactos así realizados ponen las células fotovoltaicas en forma de banda 31 en conexión en serie.
- 40 Las dos bandas de cobre 25 están dispuestas en los extremos de la capa conductora 24 en recubrimiento.
- 40 La segunda capa fina de adhesivo termorreactivable (EVA) 23 se dispone sobre la superficie de la capa conductora 24.
- 45 La capa fina de polimetilmetacrilato (PMMA) 30 se aplica a continuación sobre la superficie de la segunda capa fina de adhesivo termorreactivable (EVA) 23.
- El conjunto se solidariza por último por prensado en caliente (laminación).
- 50 Se obtiene así un módulo fotovoltaico cuya diferencia de potencial depende del número de células fotovoltaicas en forma de banda 31 yuxtapuestas.
- 55 El procedimiento de fabricación de los módulos fotovoltaicos comprende una etapa de recorte de las bandas de dispositivo texturizado cristalográficamente 13 para obtener unas bandas de dispositivo texturizado cristalográficamente 13 de dimensiones más pequeñas. Esta etapa de recorte sobre el rodillo de aleación interviene después del depósito de las diferentes capas finas. Las bandas de dispositivo texturizado cristalográficamente 13 se recortan al tamaño deseado, según las aplicaciones.
- 60 Para recortar los dispositivos texturizados cristalográficamente 13, se necesita evitar el agrietamiento del silicio. Y por lo tanto, previamente, es preciso crear un surco sobre el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que está revestido de silicio. El surco se crea utilizando una técnica de micro-chorro de arena: se proyectan finas partículas de alúmina con la ayuda de una boquilla sobre la superficie de silicio.
- 65 Es posible realizar así un surco exento de silicio sobre la superficie 3 del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1, y que tiene una anchura bien controlada, como por ejemplo una anchura de 2 mm.
- Después, es posible recortar las bandas de dispositivo texturizado cristalográficamente 13 con unas herramientas

convencionales, por ejemplo unas cizallas rotativas, tomando la precaución de proteger la superficie de los cilindros con una banda de elastómero.

5 El procedimiento de recorte de los dispositivos texturizados cristalográficamente 13 se puede realizar según otro modo de realización de la invención.

Se graban unos surcos 32 en la banda de sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 para facilitar un recorte ulterior, tal como se representa en la figura 11.

10 Después del depósito de silicio sobre el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1, los surcos 32 se limpian por chorro de arena para eliminar los cortocircuitos. Después se recortan los enganches.

15 La invención se refiere asimismo a un procedimiento de depósito de capas finas a base de silicio sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1, tal como se ha descrito anteriormente.

20 Según un modo de realización de la invención, el depósito de capas finas policristalinas a base de silicio se realiza mediante un método de depósito químico en fase vapor (CVD) y ventajosamente mediante un método de depósito químico en fase vapor asistido por plasma de radiofrecuencia (RFPECVD), siendo la frecuencia aplicada al plasma de 13,56 MHz. Según dos modos de realización diferentes, el depósito se puede realizar sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que ha sufrido un grabado químico o sin grabado químico.

25 La temperatura del plasma debe ser inferior a 300°C, preferentemente del orden de 200°C. El plasma comprende ventajosamente una mezcla gaseosa de tetrafluoruro de silicio (SiF₄), de hidrógeno y de argón. Es posible asimismo sustituir el tetrafluoruro de silicio por silano (SiH₄).

El crecimiento orientado o epitaxial de las capas finas de silicio policristalino 11 sobre la aleación hierro-níquel se ve favorecido por la textura cristalográfica de la aleación y por las condiciones del plasma.

30 Como ejemplo de realización, los mejores resultados se obtienen por depósito a partir de la disociación de mezclas gaseosas de SiF₄, de hidrógeno y de argón, con unos caudales de gas en centímetros cúbicos por minuto de (1,2,40) (sccm) con una presión total de 1800 mTorr, una potencia de radiofrecuencia de 16 W y una temperatura de sustrato 1 de aproximadamente 200°C. La temperatura de sustrato 1 debe ser inferior a 300°C.

35 El resultado es la obtención de una capa fina de silicio 11 completamente cristalizada por depósito directo a baja temperatura (200°C) sobre un sustrato 1 formado por una aleación hierro-níquel que comprende el 41% de níquel.

La cuantificación de las fracciones cristalinas se puede obtener mediante unas mediciones de elipsometría espectroscópica.

40 El análisis de las mediciones de elipsometría espectroscópica con la ayuda de un modelo óptico permite cuantificar la fracción cristalina así como distinguir entre granos gruesos (tamaños entre 0,1 μm y 1 μm) y granos pequeños (< 0,1 μm), como se describe en el documento "A. Abramov, Y. Djeridane, R. Vanderhaghen, y P. Roca i Cabarocas: "Large grain μc-Si:H films deposited at low temperature: growth process and electronic properties". J. Non Cryst. Solids 352 (2006) pp. 964-967".

45 La tabla 2 proporciona las fracciones cristalinas de una capa de silicio policristalino así como de la capa de rugosidad (6 nm) para una capa fina policristalina a base de silicio 11, obtenida con la ayuda de las mediciones de elipsometría espectroscópica.

Grosor (nm)	Fracción de grano pequeño	Fracción de grano grueso	Fracción de vacío
6	38	35	27
379	57	38	5

50 Los resultados del modelo óptico que permiten reproducir las mediciones de elipsometría muestran que la capa de silicio 11 que tiene un grosor de 379 nm comprende una mezcla del 57% de cristales pequeños, del 38% de cristales grandes y el 5 % de vacío (estando este último asociado al hidrógeno incorporado en la capa y una baja porosidad probablemente en los bordes de los granos).

55 Para hacer variar estos parámetros, es posible hacer variar las condiciones de realización: mezcla de los gases, presión, potencia de radiofrecuencia y temperatura del sustrato.

60 Los gases fuente son el SiF₄, el hidrógeno y para los gases dopantes el trimetilboro y la fosfina. En el plasma 33, las colisiones inelásticas entre los electrones energéticos (acelerados por el campo eléctrico de radiofrecuencia) y el silano generan unos radicales, unos iones y unas especies excitadas. Las especies reactivas producidas en el plasma 33 se condensarán sobre el sustrato 1 para formar (átomo tras átomo) una capa fina, generalmente desordenada.

Esta técnica permite el depósito de capas finas a base de silicio 11 a baja temperatura (típicamente entre 100°C y 300°C), sobre unos sustratos 1 de grandes superficies (que pueden alcanzar 5 m²).

5 La figura 12 representa un modo de realización de depósito de capas finas a base de silicio 11 sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1, por descomposición química de los gases reactivos en un plasma 33 de descarga a baja temperatura.

10 La figura 13 representa una ampliación de la zona de crecimiento 35 del silicio sobre la capa fina policristalina 11 durante el modo de realización representado en la figura 12. Este ejemplo corresponde al crecimiento a partir de silano (radicales SiH₃).

15 Los productos de disociación de los gases precursores 34 "se condensan" sobre el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 que forma una capa fina a base de silicio 11. Los productos de disociación de los gases precursores 34 son unos nanocristales que pueden ser utilizados como ladrillos elementales para el crecimiento de la capa de silicio policristalino. La interfaz plasma/sólido se realiza sobre un grosor de material denominado zona de crecimiento 35 e implica unas reacciones controladas por la temperatura del sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 y la energía aportada por los iones y por el hidrógeno atómico (recocido químico). En la interfaz plasma/sólido, se producen unos fenómenos de fisiorción 36, de abstracción de hidrógeno 37, de recombina-
20 ción (Si₂H₆) 38 y de desorción 39.

También es posible optimizar los procedimientos de depósito para sinterizar unos nanocristales de silicio 34 en los plasmas de silano (SiH₄) y de tetrafluoruro de silicio (SiF₄) como se describe en el documento "P. Roca i Cabarrocas, Th Nguyen-Tran, Y. Djeridane, A. Abramov, E. Johnson y G. Patriarche: "Synthesis of silicon nanocrystals in silane plasmas for nanoelectronics and large area electronic devices". J. Phys. D: Appl. Phys. 40 (2007) pp. 2258-2266".
25

También es posible utilizar otras técnicas de depósito CVD, como por ejemplo la CVD por plasma de microondas, o la CVD asistida por filamento caliente (HWCVD), con el objetivo de aumentar la velocidad de depósito o disminuir la densidad de los defectos en la capa intrínseca (no dopada intencionalmente).
30

El procedimiento de depósito según la invención permite obtener una capa fina policristalina a base de silicio 11 sin ninguna contaminación del silicio por el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1. También se mejoran los rendimientos de conversión.

35 Así, según la invención, el sustrato metálico texturizado cristalográficamente 1 permite favorecer los mecanismos de crecimiento epitaxial u orientado a grandes granos del silicio, directamente durante las fases de depósito.

El hecho de que el coeficiente medio de dilatación de la aleación hierro-níquel sea ligeramente superior o igual al de la película fina policristalina a base de silicio 11 permite limitar las tensiones térmicas generadas sobre la capa fina policristalina a base de silicio 11 en funcionamiento y aumentar la duración de vida de las células fotovoltaicas.
40

REIVINDICACIONES

1. Sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1) que comprende una superficie de conexión (2) y una superficie (3) destinada a recibir un depósito de capa fina, estando dicho sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1) constituido por una aleación que presenta un sistema cristalino cúbico de caras centradas y una textura cristalográfica en cubo {100} <001> mayoritaria, comprendiendo la superficie destinada a recibir el depósito de capa fina (3) unos granos (4) que presentan mayoritariamente unos planos cristalográficos {100} paralelos a la superficie (3) destinada a recibir un depósito de capa fina,

10 caracterizado por que:

- la aleación es una aleación hierro-níquel que tiene una composición que comprende, en % en peso con respecto al peso total de dicha aleación:

15 $Ni \geq 30\%$,
 $Cu \leq 15\%$,
 $Cr \leq 15\%$,
 $Co \leq 12\%$,
 $Mn \leq 5\%$,
20 $S < 0,0007\%$,
 $P < 0,003\%$,
 $B < 0,0005\%$,
 $Pb < 0,0001\%$,

- los porcentajes en níquel, cromo, cobre, cobalto y manganeso son tales que la aleación satisface la condición siguiente:

$$34 \% \leq (Ni + Cr + Cu/2 + Co/2 + Mn), y$$

- la aleación comprende hasta el 1% en peso de uno o varios elementos desoxidantes seleccionados de entre el silicio, el magnesio, el aluminio y el calcio, siendo el resto de los elementos que constituyen la aleación hierro e impurezas.

2. Sustrato metálico texturizado cristalográficamente según la reivindicación 1, caracterizado por que los porcentajes en níquel, cromo, cobre, cobalto y manganeso son tales que la aleación satisface la condición siguiente:

$$34 \% \leq (Ni + Cr + Cu/2 + Co/2 + Mn) \leq 54 \%,$$

- siendo el coeficiente medio de dilatación de la aleación, α_{20}^{100} , entre 20°C y 100°C, superior a $10^{-6}K^{-1}$, y preferentemente comprendido entre $10^{-6}K^{-1}$ y $10^{-6}K^{-1}$.

3. Sustrato metálico texturizado cristalográficamente según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que la superficie (3) destinada a recibir un depósito de capa fina del sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1) presenta una rugosidad R_a inferior a 150 nm, y preferentemente inferior a 50 nm.

4. Sustrato metálico texturizado cristalográficamente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1) es fino con un grosor comprendido entre 0,5 mm y 0,05 mm y preferentemente del orden de 0,1 mm.

5. Sustrato metálico texturizado cristalográficamente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que los granos (4) sobre la superficie (3) destinada a recibir un depósito de capa fina están grabados en forma de pirámide que presenta unos planos {111} y unos peldaños (12) según los planos {100} de manera que formen una red de tipo red de blaze.

6. Dispositivo texturizado cristalográficamente, caracterizado por que comprende un sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1), tal como el definido según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, sobre el que se ha depositado una capa fina policristalina a base de silicio (11), presentando la capa fina policristalina (11) una orientación cristalográfica preferente {100} y {111}.

7. Dispositivo texturizado cristalográficamente según la reivindicación 6, caracterizado por que el parámetro de malla cristalina del sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1) es idéntico o casi idéntico al de la capa fina policristalina a base de silicio (11).

8. Dispositivo texturizado cristalográficamente según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, caracterizado por que el coeficiente medio de dilatación de la aleación que constituye el sustrato metálico texturizado cristalográficamente

(1) es próximo al de la capa fina policristalina (11).

9. Dispositivo texturizado cristalográficamente según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado por que la capa fina policristalina (11) a base de silicio presenta un grosor inferior a 10 μm , preferentemente inferior a 5 μm , y comprende unos cristales de silicio de dimensión comprendida entre 0,1 μm y 2 μm .

10. Célula fotovoltaica, caracterizada por que comprende un dispositivo texturizado cristalográficamente (13) tal como el definido según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9.

11. Célula fotovoltaica según la reivindicación 10, caracterizada por que comprende:

- un dispositivo texturizado cristalográficamente (13) en el que:
 - el sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1) presenta un contenido en níquel igual al 41% en peso con respecto al peso total de la aleación que constituye el sustrato metálico (1),
 - el silicio de la capa fina de silicio policristalino (11) está dopado,
- una capa fina de silicio intrínseco policristalino (14) depositada sobre el dispositivo texturizado cristalográficamente (13),
- una capa fina de silicio policristalino dopado (15), depositada sobre la capa fina de silicio intrínseco policristalino (14),
- una capa fina de un óxido transparente conductor (16) depositada sobre la capa fina de silicio policristalino dopado (15), y
- una rejilla metálica (17) dispuesta sobre la capa fina de óxido transparente conductor (16) y que comprende varios elementos, uno de ellos un elemento de rejilla central (18).

12. Célula fotovoltaica según la reivindicación 11, caracterizada por que el dispositivo texturizado cristalográficamente (13) y las diferentes capas finas (14, 15, 16) están atravesados por un conector (19) unido al elemento de rejilla central (18) y que desemboca en el exterior de la célula fotovoltaica a través de la superficie de conexión (2) del sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1), estando dicho conector (19) rodeado de un aislante (20) que se extiende desde la superficie de conexión (2) del sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1) hasta el elemento de rejilla central (18).

13. Módulo fotovoltaico, caracterizado por que comprende:

- una capa fina de polímero (21),
- dos capas finas de adhesivo termorreactivable (22, 23), entre las cuales una primera (22) y una segunda (23) capas finas de adhesivo termorreactivable, estando la primera capa fina de adhesivo termorreactivable (22) depositada sobre la capa fina de polímero (21),
- una capa conductora (24) formada por una pluralidad de células fotovoltaicas, tales como las definidas según la reivindicación 12, y por dos bandas de cobre (25) dispuestas en los extremos respectivos de la capa conductora formada por una pluralidad de células fotovoltaicas (31), presentando dichas células fotovoltaicas (31) una forma de bandas y estando las dos bandas de cobre (25) dispuestas entre las primera (22) y segunda (23) capas finas de adhesivo termorreactivable, paralelamente unas con respecto a las otras, inclinadas con respecto a las capas finas de adhesivo termorreactivable (22, 23) y solapándose de manera que formen una fila de células fotovoltaicas (31) y de bandas de cobre (25) en contacto según una dirección paralela a las capas finas de adhesivo termorreactivable (22, 23), formando la pluralidad de células fotovoltaicas (31) y las dos bandas de cobre (25) una conexión en serie, y
- una capa fina de polimetilmetacrilato (30) depositada sobre la segunda capa fina de adhesivo termorreactivable (23).

14. Procedimiento de depósito de capas finas a base de silicio sobre un sustrato metálico texturizado cristalográficamente (1), tal como el definido según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que se realiza mediante un método de depósito químico en fase vapor (CVD), siendo la temperatura del plasma inferior a 300°C, preferentemente del orden de 200°C.

15. Procedimiento de depósito de capas finas a base de silicio según la reivindicación 14, caracterizado por que el método de depósito químico en fase vapor (CVD) es un método de depósito químico en fase vapor asistido por plasma de radiofrecuencia (RFPECVD), comprendiendo el plasma una mezcla gaseosa de SiF_4 , de hidrógeno y de

argón, y siendo la potencia de radiofrecuencia utilizada del orden de 16 W.

16. Procedimiento de depósito de capas finas a base de silicio según cualquiera de las reivindicaciones 14 o 15, caracterizado por que el crecimiento epitaxial del silicio se obtiene a partir de nanocristales de silicio sintetizados en el plasma.

5

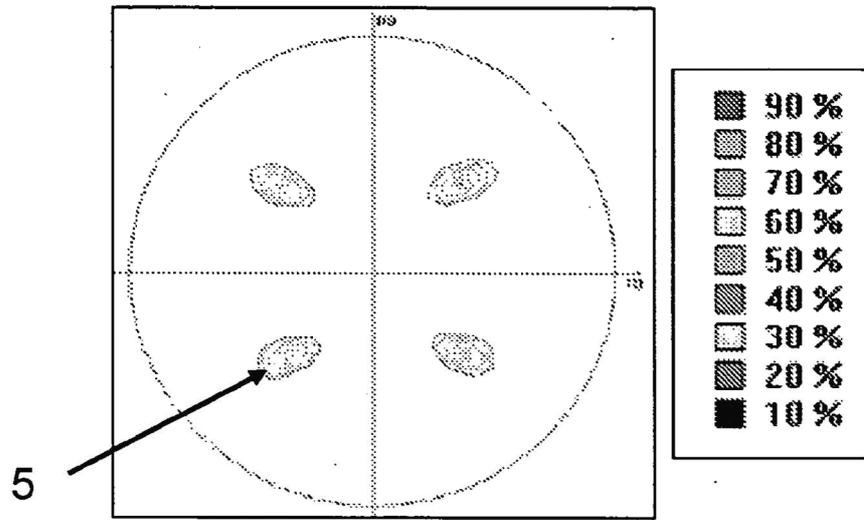


FIGURA 1

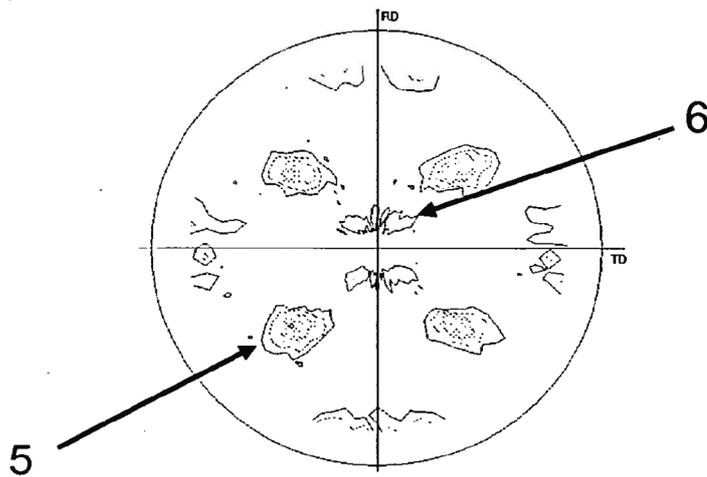


FIGURA 2

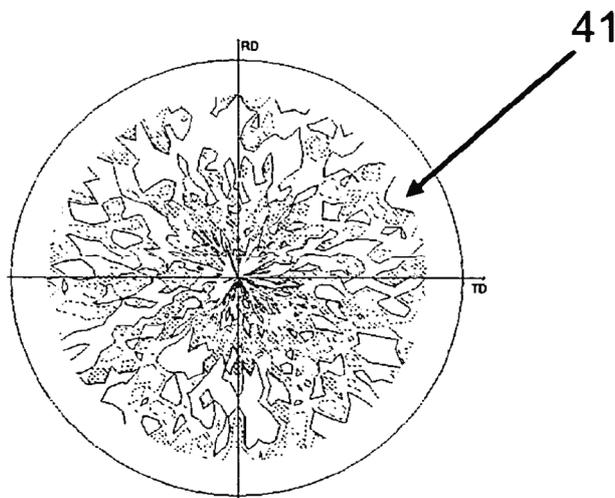


FIGURA 3

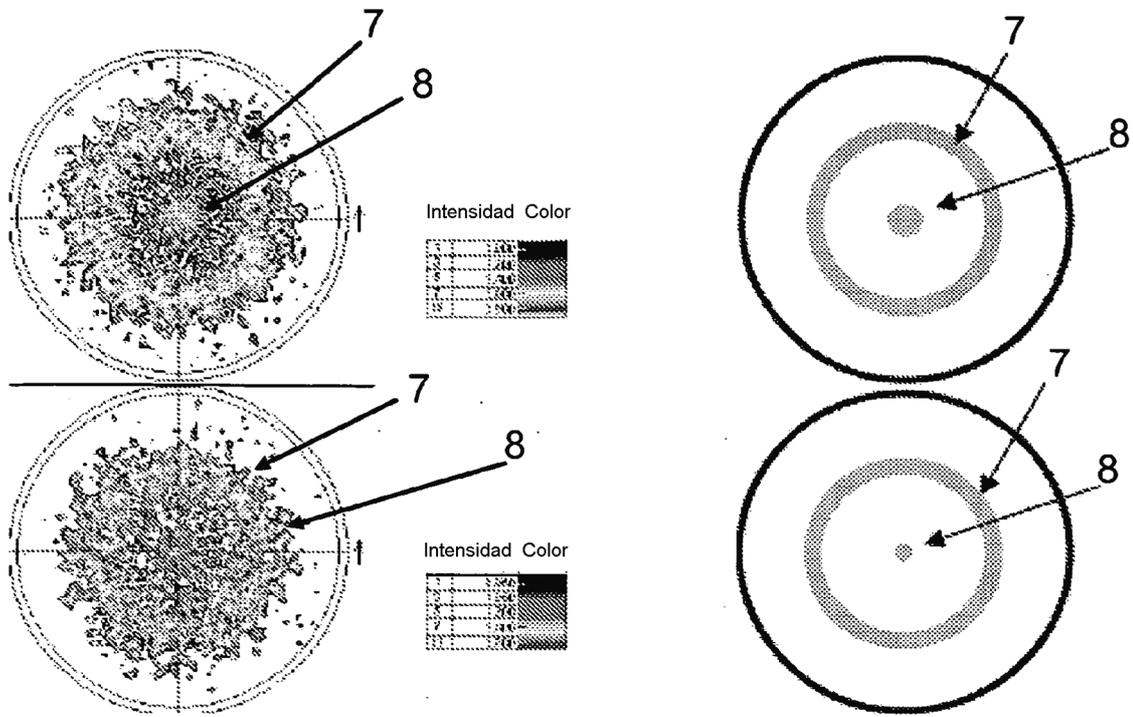
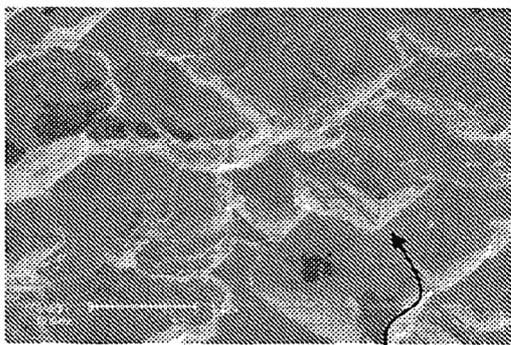
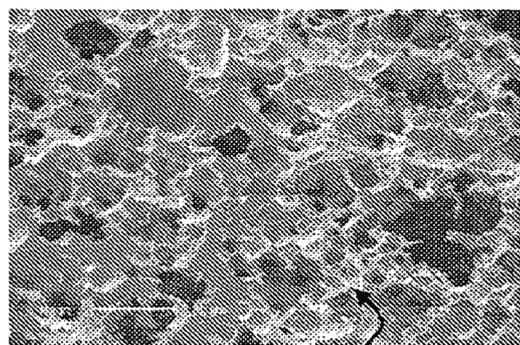


FIGURA 4



3 4

FIGURA 5a



3 4

FIGURA 5b

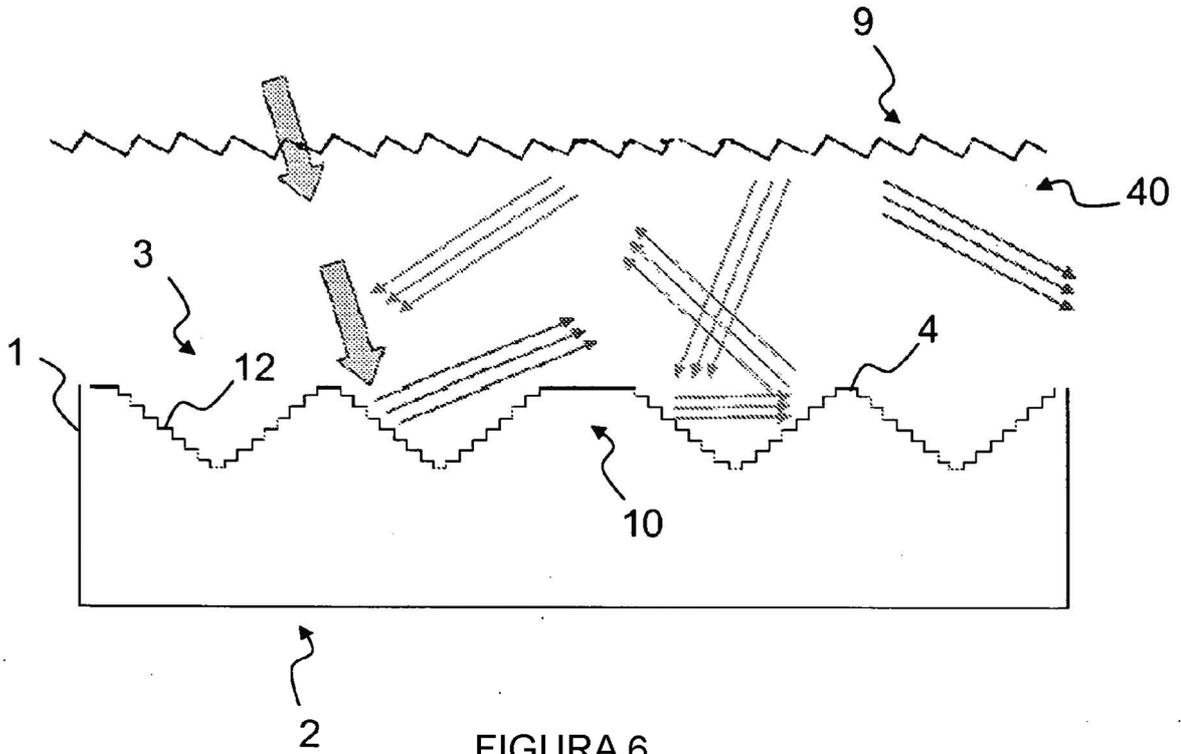


FIGURA 6

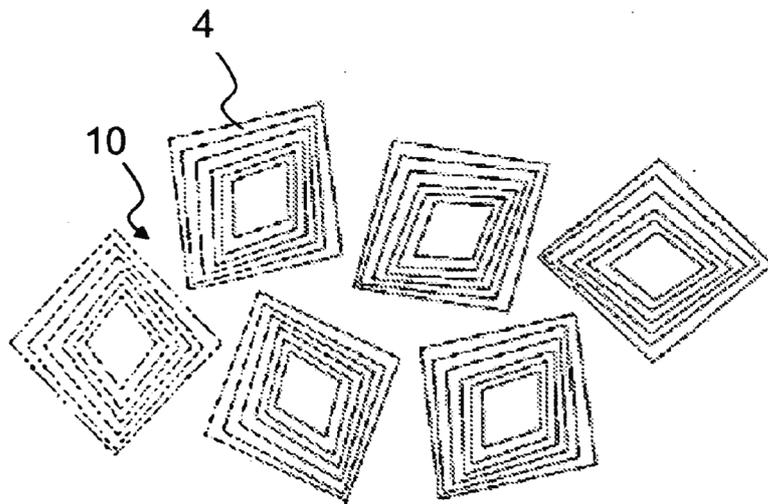


FIGURA 7

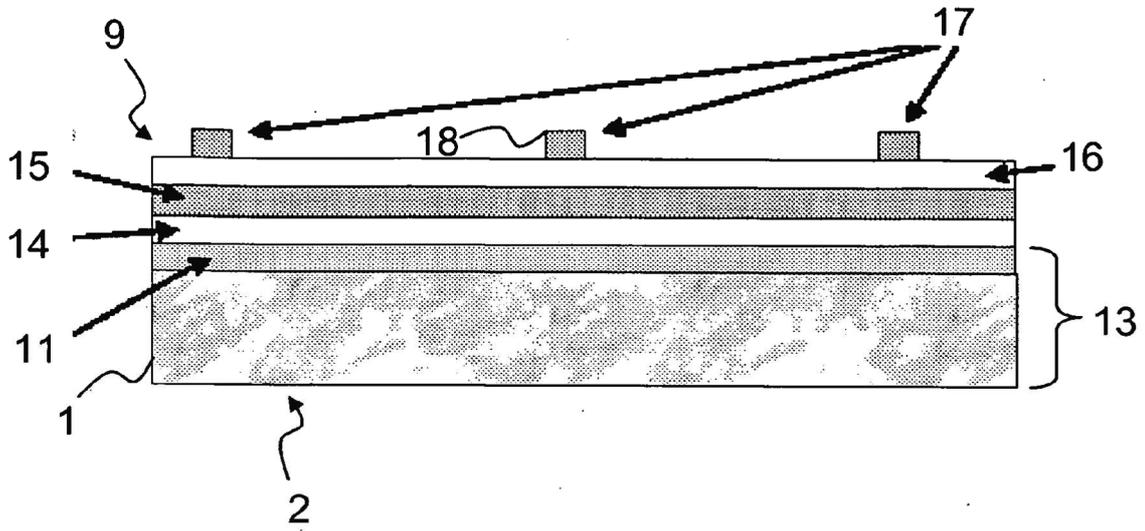


FIGURA 8

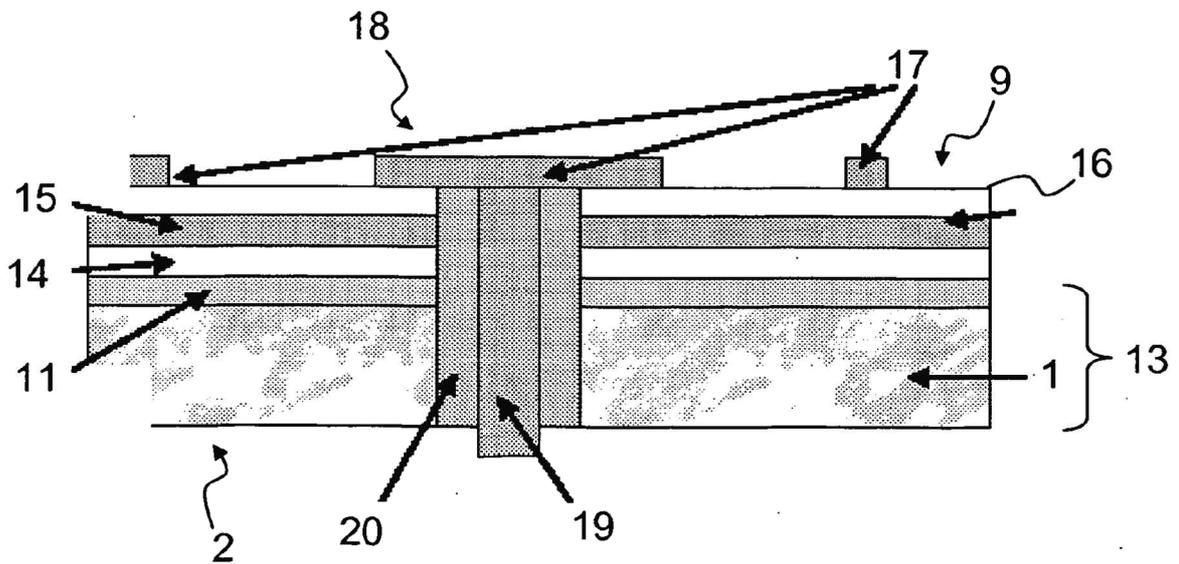


FIGURA 9

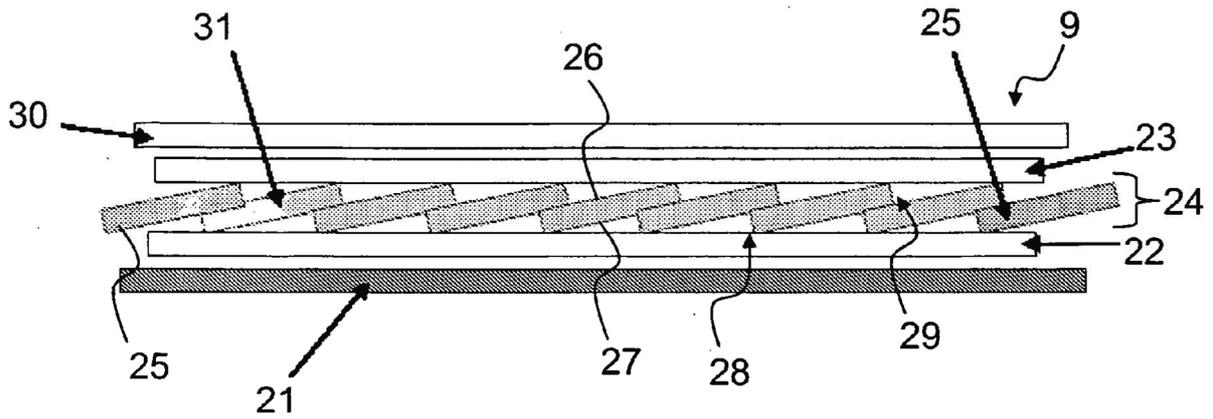


FIGURE 10

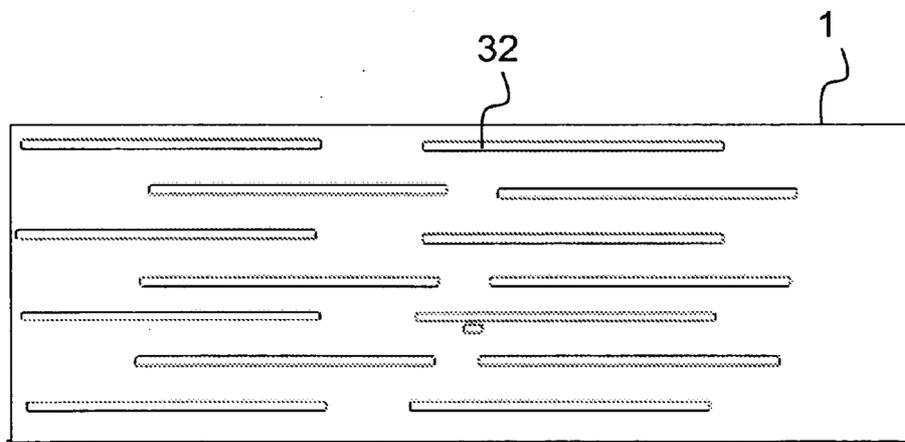


FIGURE 11

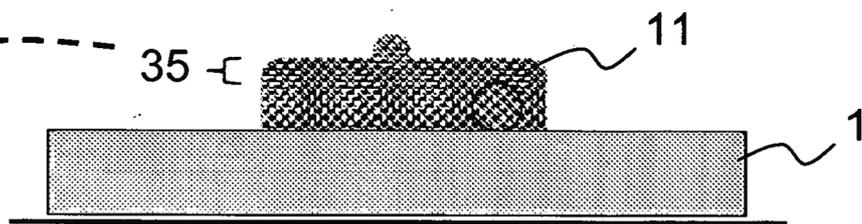
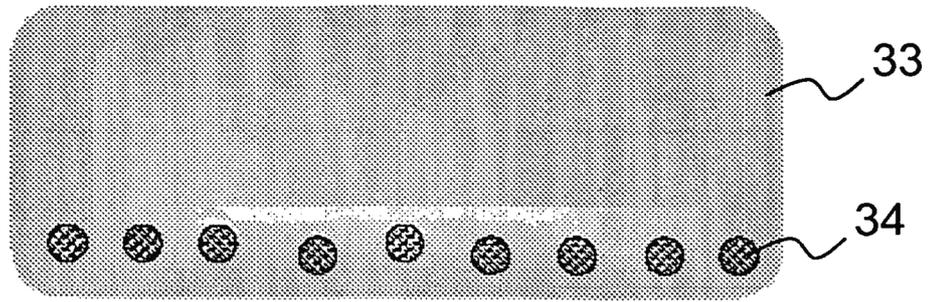


FIGURA 12

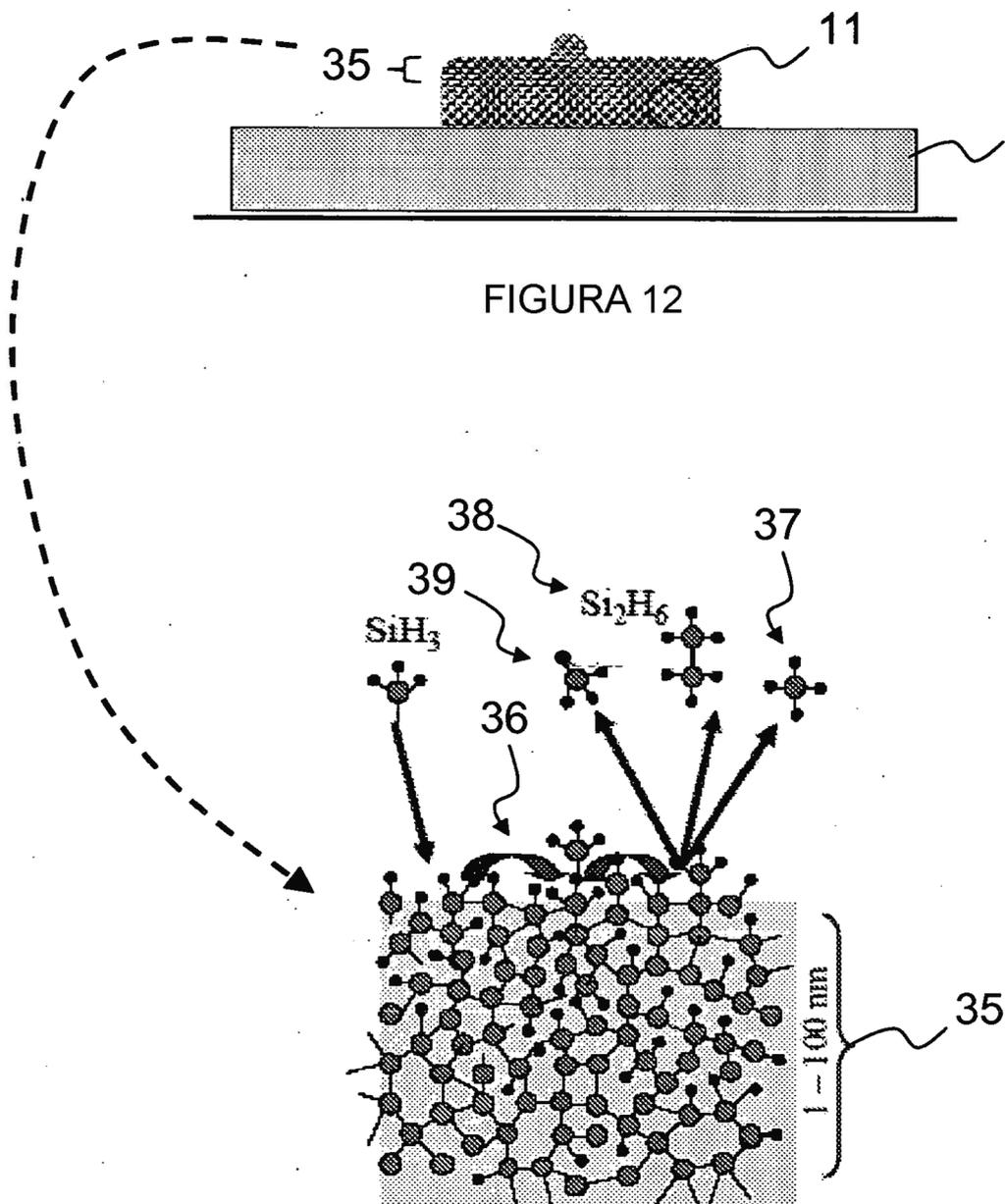


FIGURA 13