

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 938**

51 Int. Cl.:
H01L 31/0236 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
C30B 15/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05739553 .5**
96 Fecha de presentación: **18.03.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1735843**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.12.2006**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de placas de sicilio policristalino**

30 Prioridad:
05.04.2004 FR 0450680

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
03.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
03.04.2012

73 Titular/es:
SOLARFORCE
25/29, CHEMIN SAINT-ANDRE
69760 LIMONEST, FR

72 Inventor/es:
REMY, Claude y
BELOUET, Christian

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 377 938 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

Procedimiento de fabricación de placas de silicio policristalino

La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de placas de silicio policristalino, especialmente de pequeño espesor, en las que al menos una de las dos caras de cada placa tiene un relieve predeterminado. Este relieve puede estar presente en la mayor parte de la cara (este es el caso de la texturización por ejemplo) y/o en una parte pequeña (éste es por ejemplo el caso del marcado de una placa o del refuerzo de su rigidez por nervios). El procedimiento se aplica de modo muy particular a la fabricación de células solares, denominadas células fotovoltaicas o fotopilas.

Una célula fotovoltaica tipo es un diodo de unión n-p, en el que la unión muy poco profunda es paralela a la superficie. Bajo iluminación, los fotones cuya energía $h\nu$ sea superior a la anchura de banda prohibida E_g del semiconductor son absorbidos y crean pares electrón-agujero. Los portadores minoritarios así generados (agujeros en la zona n y electrones en la zona p) son recogidos por la unión n-p. Resulta así una corriente I_{ph} , que circula de la región n hacia la zona p. Para recoger esta corriente se realizan contactos metálicos en la superficie de la zona de tipo n (emisor) y en la cara trasera de la zona de tipo p (base).

El mercado de la electricidad fotovoltaica está dominado por las células fotovoltaicas del tipo unión n-p (o p-n) realizadas en silicio cristalizado. Es siempre necesario buscar el valor máximo de la densidad de fotocorriente generada bajo una iluminación dada. Esto supone optimizar la recogida de los portadores minoritarios generados por la parte útil de la radiación incidente (fotones de energía $h\nu > E_g$). A tal efecto, se utilizan varios métodos. Se puede citar por ejemplo el aumento de espesor de la base para permitir la absorción de los fotones de gran longitud de onda - infrarrojo próximo (pero en detrimento del consumo de silicio), la reducción de la profundidad de la unión para favorecer la absorción de los fotones de corta longitud de onda - UV próximo - en la base, el depósito de una capa antirreflejo sobre la cara iluminada para mejorar la recogida de la radiación incidente o también la reducción de los procesos de recombinación en las interfaces (cara delantera, cara trasera, contactos).

Un último método es la texturización de la superficie. Este método, descrito por ejemplo en el artículo de J.Nijs, J.Szlufcik, J Poortmans y otros, publicado en el IEEE Trans. Electron Devices 46 (10) (1999) 1948, consiste en formar en superficie un relieve, dicho de otro modo en texturizar la superficie, en forma de pirámides. La figura 1 ilustra el principio de funcionamiento de este método. La cara 10 de la capa de silicio 12 que recibe la luz está compuesta por una red de pirámides casi idénticas y adyacentes 14 (triángulos en corte) cuyas caras laterales forman un ángulo de aproximadamente 45 grados con respecto a la base de las pirámides. Un haz luminoso incidente 16 normal a la superficie da lugar, por una parte, a un haz refractado 18, que es absorbido en la capa 12, y a un haz reflejado 20. Este último llega a la pirámide vecina y da lugar, por una parte, a un haz reflejado 22 que se aleja de la capa de silicio y por tanto se pierde y, por otra, a un primer haz refractado 24, después a un segundo haz refractado 26 que es absorbido por la capa. Este relieve aumenta así el rendimiento global de la célula fotovoltaica. En efecto:

- el coeficiente efectivo de reflexión de la luz sobre la cara de entrada es reducido, especialmente en el caso de una luz incidente de fuerte componente de luz difusa, y
- el ángulo de inclinación de los rayos luminosos que se propagan en la base con respecto a la superficie macroscópica de la célula fotovoltaica aumenta de modo considerable, con dos consecuencias: por una parte, un aumento de la distancia de propagación en la base del semiconductor y, por otra, un aumento del coeficiente de reflexión de la luz sobre la cara trasera del semiconductor. Estos dos efectos aumentan la probabilidad de absorción de los fotones de gran longitud de onda. Por vía de consecuencia, estos contribuyen a aumentar la densidad de fotocorriente y la tensión de circuito abierto de la fotopila con respecto a una fotopila cuya capa de silicio estuviera provista de caras planas.

La presencia de una texturización de este tipo llega a ser muy importante para el mantenimiento de altos rendimientos de conversión cuando se quiere reducir drásticamente el espesor de la capa de silicio de típicamente $300\ \mu\text{m}$ - $350\ \mu\text{m}$ (células fotovoltaicas clásicas) hasta al menos $100\ \mu\text{m}$, hasta $50\ \mu\text{m}$ (véase más adelante), para reducir el coste de estos dispositivos. En esta gama, una parte importante del espectro de la radiación incidente, que se propaga en la proximidad de la normal a la superficie, no sería absorbida en el espesor del material mientras que el coeficiente de reflexión en cara trasera, salvo precaución particular, sería típicamente inferior a 0,6 (incidencia normal en la cara trasera).

Una de las aplicaciones de la presente invención se refiere a la texturización de capas de silicio policristalino para la fabricación de células solares y es particularmente interesante para las capas de pequeño espesor, inferior a $300\ \mu\text{m}$. La texturización consiste en dar a la superficie de la capa un relieve predeterminado, por ejemplo una red de ranuras paralelas o una red de pirámides.

De acuerdo con un primer método de texturización conocido, que se refiere solamente a las placas de silicio monocristalino y en las que la superficie es próxima al plano cristalino (100), la texturización se efectúa por ataque químico de la superficie por medio de una solución KOH / isopropanol. Este ataque, muy anisótropo y específico de

la cara cristalográfica (100), permite obtener pirámides de tamaño micrométrico muy regulares e inclinadas 45° con la superficie macroscópica. Sin embargo, esta técnica es netamente menos eficaz cuando se aplica a placas de silicio policristalino, las cuales son utilizadas cada vez más por razones de coste.

5 En este caso, se han ensayado otras técnicas. Todas estas técnicas son métodos de grabado isótropo, es decir supuesto que todos los granos graban en condiciones similares: ataque en medio ácido por vía química o electroquímica (descrita en el artículo de V.Y. Yerokhov, R.Hezel, M.Lipinski, R.Ciach, H.Nagel, A.Mylynych, P. Panek, Solar Energy Materials & Solar Cells 72 (2002) 291-298), ataque reactivo en fase gaseosa (designado por el término "RIE" de "Reactive Ion Etching") por ejemplo por medio de un plasma que contiene especies cloradas (descrito en el artículo de S.Fujii, Y. Fukawa, H.Takahashi, Y. Inomata, K. Okada, K.Fukuii, K.Shirasawa, Solar Energy Materials & Solar Cells, 65 (2001) 269-275).

10 Otra técnica conocida se refiere al grabado mecánico, descrita en el artículo de F. Duerinckx, J. Szulfcik, J. Nijs, R. Mertens, C.Gerhards, C. Markmann, P. Fath, G. Willeke, High efficiency, mechanically V. Textured, screen printed multicrystalline silicon solar cells with silicon nitride passivation, Proceedings 2ª World Conference on PV Solar Energy Conversión, 1998. El grabado mecánico consiste en formar mecánicamente un relieve, por ejemplo una red de ranuras paralelas entre sí o de pirámides, directamente sobre la superficie de la capa de silicio con la ayuda de herramientas mecánicas tales como una muela de diamantes. Sin embargo, esta operación perturba considerablemente la estructura del silicio en un espesor de aproximadamente diez micras, lo que tiene por efecto inducir defectos en todo el volumen del silicio como consecuencia de los tratamientos térmicos a los cuales es sometido a continuación el silicio. El grabado mecánico es además lento y caro, y por tanto industrialmente ineficaz.

20 Otra técnica conocida se refiere a un procedimiento de depósito de una película delgada de silicio sobre una superficie de una cinta de carbono, véase el documento EP-A2-0079567.

25 Cada una de estas técnicas tiene limitaciones severas, ya sea en términos de coste (ataque electroquímico, ataque plasma y grabado mecánico), o bien en términos de eficacia (ataque químico ácido). Varias de ellas no son aplicables a las placas muy delgadas, de espesor inferior a 300 µm, generalmente muy frágiles, en razón de las manipulaciones y/o de las tensiones mecánicas que éstas inducen. Éste es el caso del grabado mecánico y en una cierta medida del decapado electroquímico (manipulaciones). El procedimiento de la presente invención no presenta los inconvenientes anteriores.

Otra aplicación de la presente invención se refiere al marcado de las placas con el fin de diferenciar una placa o una serie de placas de silicio con respecto a otras placas de silicio.

30 Otra aplicación de la presente invención se refiere al refuerzo de la rigidez de las placas de silicio delgadas.

De modo general, la presente invención resuelve el problema de la impresión de placas de silicio policristalino, especialmente de pequeños espesores, inferiores a 300 µm, proponiendo un procedimiento menos costoso que los métodos de la técnica anterior, eficaz porque no perturba la estructura interna del silicio y porque puede ser puesto en práctica industrialmente.

35 De modo más preciso, la invención tiene por objeto un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

40 El relieve predeterminado puede tener una o varias funciones. Puede tratarse por ejemplo de texturizar la cara o las caras de la placa de silicio. En este caso, el relieve ocupa al menos la mayor parte de la cara o de las caras. Puede tratarse igualmente, además o independientemente de la texturización, de marcar la capa de silicio por una referencia para diferenciar la placa, o una serie de placas, resultantes de esta placa de silicio, con respecto a otras placas de silicio. El relieve puede también tener la función, cuando éste se refiere solamente a una parte de la placa, de aumentar la rigidez de las placas de silicio delgadas, que son relativamente flexibles, creando nervios.

Aplicándose la invención de modo muy particular a la fabricación de células solares, el citado relieve puede ser elegido para texturizar la mayor parte de la superficie de la capa de silicio con el fin de aumentar la probabilidad de absorción de la luz incidente en la citada capa.

45 De acuerdo con una primera variante de realización de la invención, el citado relieve de texturización tiene la forma de una red de pirámides sensiblemente idénticas, formando preferentemente las caras laterales de cada una de las citadas pirámides con la base de la pirámide ángulos sensiblemente iguales a 45 grados. La altura de las citadas pirámides está comprendida ventajosamente entre 1 µm y 10 µm.

50 De acuerdo con la invención, el citado soporte es una cinta de carbono, la cual es recubierta con un revestimiento protector de grafito pirolítico después de la impresión de su superficie para darle la citada forma complementaria del relieve.

La citada cara del soporte puede ser impresa para darle una forma complementaria del citado relieve por impresión de una matriz sobre el citado soporte, teniendo la superficie de impresión de la matriz la forma de una superficie plana sobre la cual ha sido impreso el citado relieve predeterminado.

De acuerdo con otra variante de realización de la invención, se imprime la citada cara del soporte para darla una forma complementaria del citado relieve por pinzamiento y paso continuo del citado soporte entre dos rodillos, teniendo la superficie de impresión de al menos uno de los citados rodillos la forma del citado relieve predeterminado.

- 5 La citada superficie de impresión de la citada matriz o del citado rodillo está preferentemente realizada en un material elegido entre el carbono, el carburo de silicio, el silicio y el nitruro de silicio.

De modo ventajoso, las superficies de impresión de los dos rodillos tienen la forma del citado relieve, tomando entonces las dos caras del citado soporte la forma complementaria del citado relieve durante los citados pinzamiento y paso continuo entre los citados rodillos.

- 10 De acuerdo con otra variante de realización, se deposita una capa de silicio policristalino simultáneamente y en régimen continuo sobre las dos caras de la citada cinta haciéndola atravesar un baño de silicio fundido y tirando de ella verticalmente y a velocidad constante, de abajo a arriba, para sacarla del citado baño, obteniendo así dos capas de silicio policristalino, teniendo cada una, una superficie que tiene el citado relieve.

- 15 El citado soporte se elimina preferentemente por quemado calentando a alta temperatura el conjunto formado por el soporte y el silicio policristalino y a continuación se decapa la cara del silicio policristalino que tiene la forma del citado relieve.

Ventajosamente, el citado soporte tiene un espesor comprendido entre 200 μm y 350 μm , preferentemente entre 200 μm y 300 μm , la capa de silicio policristalino tiene un espesor comprendido entre 40 μm y 300 μm y el espesor del citado revestimiento protector es sensiblemente igual a 1 μm .

- 20 De acuerdo con otra variante de realización, el citado relieve está compuesto, independientemente o además de la texturización, de un motivo que caracteriza a la citada placa o a una serie de placas de silicio. Este motivo puede ser por ejemplo un código de barras o un número de referencia.

- 25 De acuerdo con otra variante de realización, independientemente o además de la texturización y/o del motivo que caracteriza a la placa, se imprimen escotaduras sobre la citada placa del citado soporte de modo que sobre la citada superficie de la capa de silicio se forman nervios complementarios de las escotaduras, lo que tiene por efecto aumentar la rigidez de la capa de silicio. La profundidad de las citadas escotaduras puede ser de algunas decenas de micras y la mayor anchura de los citados nervios puede ser como máximo de algunos milímetros.

- 30 De acuerdo con otra variante de realización, cada uno de los citados rodillos está formado por al menos dos moletas en las que cada cara forma una cara de impresión, estando las moletas separadas por un disco que tiene una parte en saliente por encima de la cara de impresión de las moletas, estando constituida la superficie de impresión de los rodillos por las caras de impresión de las moletas que forman la texturización y/o el motivo de la capa de silicio y formando la parte en saliente del disco el relieve en forma de nervio perpendicular al eje de rotación del citado rodillo. De modo ventajoso, cada uno de los rodillos está compuesto por una sucesión de moletas separadas por discos, teniendo cada uno de los discos una parte en saliente por encima de la superficie de las moletas, constituyendo el espaciamiento entre los citados discos el motivo que caracteriza a la citada placa o a la citada serie de placas de silicio policristalino.
- 35

De acuerdo con otra variante de realización, los citados rodillos o las citadas moletas comprenden ranuras longitudinales, paralelas a los ejes de rotación de los rodillos o de las moletas. Estas ranuras longitudinales pueden coexistir con las ranuras formadas por los citados discos.

- 40 Otras ventajas y características de la invención se pondrán de manifiesto en el transcurso de la descripción que sigue de varios modos de realización, dados a título de ejemplos no limitativos, refiriéndose a los dibujos anejos y en los cuales:

- la figura 1 ilustra la trayectoria de un haz luminoso incidente en una capa de silicio cuya superficie frontal ha sido texturizada para darla un relieve en forma de pirámides,
- 45 - la figura 2 ilustra de modo esquemático el procedimiento de texturización de las dos caras del soporte de la capa de silicio,
- la figura 3 representa el soporte y las capas de silicio obtenidos en diferentes etapas del procedimiento de fabricación de las capas de silicio texturizadas,
- la figura 4 representa esquemáticamente el modo de realización preferido del procedimiento de fabricación de las capas texturizadas,
- 50 - la figura 5 muestra esquemáticamente los rodillos formados por moletas y discos que permiten texturizar y/o marcar y formar nervios en la superficie de la capa de silicio, por intermedio de la etapa de impresión del soporte, y

- la figura 6 representa esquemáticamente en sección una moleta provista de ranuras longitudinales, paralelamente a su eje de rotación.

De acuerdo con el procedimiento de la invención, la fabricación de una o varias placas delgadas de silicio policristalino consiste principalmente en depositar este silicio en forma de una capa delgada sobre la capa o las capas de un soporte que ha sido o han sido previamente impresas. Siendo depositado el silicio sobre la superficie en relieve del soporte, el silicio se adapta a la forma de este relieve. En otras palabras, la forma de la cara de la capa de silicio en contacto con el soporte es obtenida por moldeo del silicio líquido sobre el soporte. El relieve de la cara del soporte es por tanto elegido complementario de la forma que se quiere dar al relieve de la cara de la capa delgada.

Las figuras 2, 3 y 4 ilustran el modo de realización preferido de la invención según el cual se fabrican simultáneamente dos capas de silicio texturizadas, marcadas y/o con nervios depositando el silicio sobre las dos caras de un soporte constituido por una cinta. La primera etapa del procedimiento consiste en dar a las dos caras de la cinta una forma complementaria de la forma predeterminada que se quiere obtener para las caras de las dos capas de silicio, caras enfrentadas del soporte. Esto es lo que ilustra la figura 2, en la cual una cinta 28 (representada en sección) es pinzada entre dos rodillos 30 y 32. Estos rodillos, de forma cilíndrica, giran alrededor de sus ejes de rotación 34 y 36 en el sentido de las flechas respectivamente 38 y 40, lo que tiene por efecto tirar de la cinta 28 hacia arriba, en el sentido de la flecha 42. De acuerdo con otra forma de realización, los rodillos 30 y 40 pueden girar libremente alrededor de de sus ejes de rotación 34 y 36, haciéndose el arrastre de la cinta 28 por otro medio independiente de los rodillos.

La superficie de impresión de estos rodillos, realizados preferentemente de carbono, carburo de silicio, silicio o nitruro de silicio, tiene la forma del relieve predeterminado 44 que se quiere dar a la superficie de la capa de silicio. La cinta 28 es preferentemente de carbono (grafito expandido laminado), un material flexible, poco elástico y de baja densidad (comprendida entre 0,6 y 1,3). Este carbono es por ejemplo comercializado con las denominaciones de "Papyex" de la sociedad Le Carbone Lorraine, "Sigraflex" de la sociedad SGL Carbon et "Grafoil" de la sociedad Union Carbide. El carácter poco elástico de estos materiales permite realizar sobre cada una de las superficies 46 y 48 de la cinta 28 un excelente moldeo del relieve 44 de los rodillos durante el paso continuo de la cinta 28 entre los rodillos 30 y 32. La cinta 28 tiene un espesor de aproximadamente 200 μm a 300 μm y puede ser facilitada en rollos de un metro de anchura y de varios centenares de metros de longitud. Sin embargo, para el modo de realización descrito aquí, se utiliza preferentemente una anchura de aproximadamente quince centímetros.

En la figura 2, que es solamente una representación esquemática, el relieve 44 puede ser una red de ranuras paralelas o perpendiculares a los ejes de rotación 34 y 36 de los rodillos, cuando el objetivo buscado es la texturización de las caras de las capas de silicio. En el primer caso, las ranuras son horizontales y están orientadas en el sentido de la anchura de la cinta. En el segundo caso, las ranuras son verticales y están orientadas en el sentido de la longitud de la cinta. En los dos casos se obtiene una red anisótropa de una dimensión. Se observará que estos dos motivos aplicados a la texturización de la cinta de silicio dan el mismo resultado, desde el punto de vista de la texturización de la placa de silicio, que una texturización directa del silicio por vía mecánica con un diamante pero sin los inconvenientes de esta última técnica (lenta, agresiva y necesidad de un acabado por un ataque químico en profundidad para eliminar los daños del grabado con diamante). El relieve 44 puede igualmente, y preferentemente, ser una red de pirámides adyacentes tal como está ilustrado en la figura 1. En todos los casos en que la aplicación considerada es la texturización de la superficie, la forma del relieve es elegida de modo que aumente la probabilidad de absorción de la luz incidente en la capa de silicio.

La figura 3 ilustra las etapas siguientes de la fabricación de las capas de silicio. En 3A, se ha representado una cinta de carbono 50 con sus dos caras texturizadas 52 y 54 obtenidas de acuerdo con el primer método ilustrado en la figura 2. Estas dos caras 52 y 54 son a continuación recubiertas (3B) con una capa fina protectora 56 y 58 de grafito pirolítico, o pirocarbono, de espesor micrométrico. Debido al espesor muy pequeño de esta capa, se conserva el relieve de las caras 52 y 54. Este revestimiento protector es necesario porque el carbono de la cinta 50 reacciona con el silicio fundido para dar nacimiento a carburo de silicio, mientras que el grafito pirolítico es inerte con respecto al silicio fundido.

En 3C, se ha mostrado la cinta de carbono obtenida en 3B con sus caras en relieve 56 y 58 sobre las cuales han sido depositadas las dos capas 60 y 62 de silicio policristalino. El método preferido para el depósito de estas capas está ilustrado en la figura 4. La cinta sirve a la vez de soporte de las capas de silicio y de medios que permiten texturizar, marcar y/o formar nervios en las caras 64 y 66 de las capas de silicio enfrentadas de la cinta de acuerdo con el relieve predeterminado 44 de los rodillos 30 y 32 (véase la figura 2). En efecto, las caras 64 y 66 de las capas de silicio se adaptan, como por moldeo, al relieve de las caras impresas respectivamente 56 y 58. Este relieve es de forma complementaria de las caras 56 y 58 de la cinta soporte 50; éste, por tanto, es de forma idéntica al relieve 44 de los rodillos 30 y 32 de la figura 2. Se obtiene así para las capas de silicio el relieve predeterminado buscado.

La etapa siguiente consiste en primer lugar en cortar en placas, generalmente rectangulares, la cinta de material compuesto formada por la cinta 50 y las capas de silicio 60 y 62. Después, se elimina la cinta soporte 50 (etapa 3D) por quemado al aire a alta temperatura (aproximadamente 1000 grados C) con el fin de obtener dos placas 68 y 70 de silicio policristalino. Las caras texturizadas de las placas son sometidas a continuación a un ligero decapado para eliminar la capa oxidada, de sílice, que se forma en superficie. Esta capa oxidada es de un espesor muy pequeño,

del orden de algunas décimas de micras. El decapado puede hacerse por diferentes vías clásicas con la ayuda por ejemplo de ácido fluorhídrico gaseoso, de una solución acuosa de ácido fluorhídrico diluido al 5 % en agua, a la cual puede añadirse eventualmente un 10% de ácido nítrico, o también por ataque reactivo en fase gaseosa (denominado "RIE" de "Reactive Ion Etching") por medio por ejemplo de un plasma que contenga especies cloradas.

5 El depósito de las capas de silicio 60 y 62 sobre la cinta soporte 50 se efectúa ventajosamente de acuerdo con el procedimiento ilustrado en la figura 4. Este procedimiento, denominado procedimiento "RST" (de Ruban de silicium sur Substrat de carbone Temporaire), está descrito en varias patentes, por ejemplo FR 2 386 359, FR 2 550 965, FR 2 568 490 o EP 0079567. Sin embargo, el procedimiento descrito en estas patentes no utiliza una cinta de carbono impresa como la cinta 50. Las capas de silicio fabricadas de acuerdo con las enseñanzas de estas patentes no están
10 por tanto impresas (por ejemplo texturizadas, marcada y/o con nervios). En la figura 4, las caras 74 y 76 de una cinta de carbono flexible 72 (idéntica a la cinta 50 de la figura 3) han sido impresas (véase la figura 3A) para tomar la forma complementaria del relieve predeterminado gracias al procedimiento ilustrado en la figura 2 y a continuación recubiertas por una capa protectora de grafito pirolítico (véase la figura 3B). Un crisol 78 de sílice o de carbono
15 contiene un baño 80 de silicio fundido y medios (no representados) para calentar el silicio, por ejemplo resistencias calefactores que rodean al crisol. El fondo del crisol 78 comprende una ranura rectilínea 82 a través de la cual pasa verticalmente la cinta de carbono 72. Esta última es puesta en movimiento verticalmente y de abajo a arriba, por medios no representados y sale del baño 80 atravesando su superficie de equilibrio horizontal 84. La anchura y la longitud de la ranura 82 se determinan de modo que el menisco de empalme de silicio líquido sea estable en el interior de esta ranura.

20 Cuando la cinta 72 se desplaza en el sentido de la flecha 86, se deposita una capa de silicio policristalino 88 y 90 sobre las caras impresas respectivamente 74 y 76 de la cinta soporte 72. Se obtiene así el equivalente de la cinta de carbono 50 y de las capas 60 y 62 de la figura 3C. El conjunto cinta soporte y capas de silicio es a continuación recortado para formar placas. A continuación, se elimina la cinta soporte 72 y se tratan las dos capas de silicio policristalino obtenidas como se indicó anteriormente en relación con la figura 3D.

25 El procedimiento descrito en relación con la figura 2 es puesto en práctica con la ayuda de dos rodillos 30 y 32 cuyas superficies de impresión comprenden un relieve en forma de pirámides, que permite texturizar la capa de silicio. La figura 5 muestra esquemáticamente una forma de realización de los rodillos que permiten texturizar y/o marcar y formar nervios en la capa de silicio. Dos rodillos 92 y 94, que están enfrentados, giran alrededor de sus ejes de rotación paralelos 96 y 98. Una cinta de carbono 100 (mostrada en sección perpendicular a su longitud), destinada a servir de soporte a la capa de silicio policristalino, es pinzada entre los rodillos 92 y 94 y pasa continuamente entre
30 los rodillos en el sentido perpendicular a la hoja del dibujo. El rodillo 92 se compone de una serie de moletas 102, 104, 106 y 108 separadas por discos 110, 112, 114 y 116. Estas moletas y estos discos tienen como eje de rotación el eje de rotación 96. Del mismo modo, el rodillo 94 se compone de moletas 118, 120, 122 y 124 separadas por discos 126, 128, 130 y 132, teniendo las moletas y los discos como eje de rotación el eje 98. La superficie cilíndrica (superficie de impresión) de cada una de las moletas puede tener un relieve o un motivo de impresión que permite texturizar y/o marcar por una referencia la cinta de carbono 100. El diámetro de los discos es ligeramente superior al de las moletas de modo que una parte 134 de cada disco (la circunferencia exterior) sobresale con respecto a la superficie de impresión de las moletas. Resulta así que el relieve impreso en la cinta 100 por los discos 110 a 116 y
35 126 a 132 son escotaduras 136. Depositando la capa de silicio sobre la cinta, con la ayuda del procedimiento ilustrado en la figura 4 por ejemplo, la superficie de la capa de silicio comprenderá ranuras, de forma complementaria de las escotaduras 136, en el sentido longitudinal de la cinta 100. Estas ranuras refuerzan la rigidez de la capa de silicio.

Pueden realizarse igualmente escotaduras en el sentido de la anchura de la cinta. Para hacer esto, los medios comprenden en relieve nervios dispuestos en sus superficies de impresión. Esto es lo que muestra
45 esquemáticamente la figura 6 en la cual la moleta 102 está representada en corte, perpendicularmente al eje de rotación 96. En la superficie cilíndrica de impresión de esta moleta están dispuestos nervios 138 paralelamente al eje de rotación 96. Estos nervios provocan escotaduras de forma complementaria en la cinta soporte 100 y nervios de la misma forma sobre la capa de silicio. Tales nervios 138 pueden estar dispuestos del mismo modo sobre las superficies de impresión de todas las otras moletas o de una parte solamente según el relieve deseado para la capa
50 de silicio. El número y el espaciado de los nervios 138 pueden ser variables.

Combinando los discos de la figura 5 con las ranuras de la figura 6, se obtiene un relieve en forma de gofre constituido por un cuadrículado de nervios, estando unos en el sentido de la longitud de la cinta y los otros en el sentido de la anchura de la cinta. En este caso, es preferible que los nervios no estén en contacto directo con los discos, sino que estén espaciados por un intersticio del orden del milímetro o inferior.

55 Preferentemente, la mayor anchura de los nervios es como mucho de un milímetro y su altura es de algunas decenas de micras.

La sección de los nervios puede tomar cualquier forma apropiada para el objetivo perseguido (refuerzo de la rigidez de la capa de silicio por ejemplo), tal como una forma en "U" o en "V".

5 El procedimiento de acuerdo con la invención aporta una solución industrial a la impresión de placas de silicio policristalino, como la texturización, el marcado y/o el refuerzo de la rigidez, sin que se aplique a la placa ninguna tensión mecánica o química. La estructura interna del silicio no resulta por tanto dañada. Cuando el relieve predeterminado es una red de pirámides sensiblemente idénticas, la texturización obtenida es completamente isótropa con posibilidades de modulación sobre el período de la red de pirámides y la forma de las pirámides. El procedimiento puede ser puesto en práctica a bajo coste, siendo el mayor coste la fabricación de los rodillos 30 y 32 o 92 y 94 los cuales pueden ser utilizados para la fabricación de placas muy numerosas. La texturización obtenida puede ser importante (gran densidad y/o intensidad del relieve) lo que permite fabricar células fotovoltaicas de muy alto rendimiento de conversión de la luz en pares electrón-agujero. Además, el consumo de los productos químicos es muy reducido puesto que estos se utilizan solamente para eliminar la capa de sílice que se forma en el transcurso de la eliminación por calentamiento de la cinta soporte de carbono.

10 De acuerdo con el modo de realización preferido de la invención anteriormente descrito, se texturizan las dos caras de la cinta soporte de carbono y se fabrican simultáneamente dos capas texturizadas de silicio policristalino. Naturalmente, se podría texturizar solamente una sola cara de la cinta soporte (texturizando solamente uno solo de los dos rodillos 30 y 32) y obtener solamente una sola capa de silicio texturizada, sin salirse del marco de la presente invención. Asimismo, podría utilizarse un procedimiento diferente del ilustrado en la figura 4 para depositar una capa de silicio sobre un soporte. En lugar de utilizar rodillos para imprimir la cinta soporte, se podría utilizar una matriz que tenga una superficie plana impresa con el relieve predeterminado.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de fabricación de al menos una placa de silicio policristalino (68, 70) de la cual una (64, 66) de las dos caras tiene un relieve predeterminado, de acuerdo con el cual se deposita una capa de silicio policristalino (60, 62) sobre al menos una (56, 58) de las dos caras de un soporte (50), siendo el citado soporte una cinta de carbono, caracterizado porque:
- se imprime la citada cara (52, 54) del soporte (50) para darla una forma complementaria del citado relieve,
 - se recubre el citado soporte con un revestimiento protector (56, 58) de grafito pirolítico después de la impresión de su superficie (52, 54) para darle la citada forma complementaria del relieve,
 - 10 - se deposita la citada capa de silicio policristalino (60, 62) es depositada sobre la citada cara impresa (56, 58) del soporte (50), adaptándose entonces la superficie (64 o 66) de la citada capa de silicio policristalino situada en contacto con la citada cara impresa (56 o 58) a la forma del citado relieve,
 - se recorta la citada capa de silicio policristalino (60 o 82), y
 - se elimina el citado soporte y el citado revestimiento protector con el fin de obtener la citada placa de silicio policristalino (68 o 70).
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se imprime la citada cara (46, 48) del soporte para darla una forma complementaria del citado relieve (44) por pinzamiento y paso continuo del citado soporte (28) entre dos rodillos (30, 32), teniendo la superficie de impresión de al menos uno de los citados rodillos la forma del citado relieve predeterminado.
- 20 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se imprime la citada cara del soporte para darla una forma complementaria del citado relieve por impresión de una matriz sobre el citado soporte, teniendo la superficie de impresión de la matriz la forma de una superficie plana sobre la cual ha sido impreso el citado relieve predeterminado.
- 25 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 y 3, caracterizado porque la citada superficie del citado rodillo (30, 32) o de la citada matriz está realizada en un material elegido entre el carbono, el carburo de silicio, el silicio y el nitruro de silicio.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 y 4, caracterizado porque las superficies de impresión de los dos rodillos (30, 32) tienen la forma del citado relieve, tomando entonces las dos caras (46, 48) del citado soporte (28) la forma complementaria del citado relieve (44) durante los citados pinzamiento y paso continuo entre los citados rodillos.
- 30 6. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 5, caracterizado porque se deposita una capa de silicio policristalino (88, 90) simultáneamente y en régimen continuo sobre las dos caras (74, 76) de la citada cinta (72) haciéndola atravesar un baño de silicio fundido (80) y tirando de ella verticalmente y a velocidad constante, de abajo a arriba (86), para sacarla del citado baño, obteniendo así dos capas (88, 90) de silicio policristalino, teniendo cada una, una superficie que tiene el citado relieve.
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se elimina el citado soporte (28, 50, 72, 100) por quemado calentando a alta temperatura el conjunto formado por el soporte y el silicio policristalino.
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado porque después del quemado del citado soporte se decapa la cara (64, 66) del silicio policristalino que tiene la forma del citado relieve.
- 40 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el citado soporte (28, 50, 72, 100) tiene un espesor comprendido entre 200 μm y 350 μm , preferentemente entre 200 μm y 300 μm .
10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la capa de silicio policristalino (68, 70, 88, 90) tiene un espesor comprendido entre 40 μm y 300 μm .
- 45 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el espesor del citado revestimiento protector (56, 58) es sensiblemente igual a 1 μm .
12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se imprime la citada cara (46, 48, 52, 54) del citado soporte (28, 50) de modo que se texturice la citada cara (64, 66) de la citada capa (68, 70) de silicio policristalino, siendo elegido el citado relieve (44) de modo que aumente la probabilidad de absorción de la luz incidente en la citada capa.
- 50 13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado porque el citado relieve tiene la forma de una red de pirámides (14) sensiblemente idénticas.

14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado porque las caras laterales de cada una de las citadas pirámides (14) forman con la base de la pirámide ángulos sensiblemente iguales a 45 grados.
15. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 13 y 14, caracterizado porque la altura de las citadas pirámides (14) está comprendida entre 1 μm y 10 μm .
- 5 16. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se imprime la citada cara del citado soporte (28, 50, 72, 100) de modo que la citada superficie de la citada capa de silicio quede marcada con un motivo que caracteriza a la citada placa o a una serie de placas de silicio policristalino.
17. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado porque el citado motivo es un código de barras.
18. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado porque el citado motivo es un número.
- 10 19. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 15 y 16 a 18, caracterizado porque el citado relieve está compuesto por la texturización de la citada cara de la citada capa de silicio policristalino y el citado motivo que caracteriza a la citada placa.
20. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque se imprimen escotaduras sobre la citada cara del citado soporte (100) de modo que sobre la citada superficie de la capa de silicio se forman nervios, de forma complementaria de las escotaduras, lo que tiene por efecto aumentar la rigidez de la citada capa.
- 15 21. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 20, caracterizado porque la profundidad de las citadas escotaduras es de algunas decenas de micras.
22. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 20 y 21, caracterizado porque la mayor anchura de los citados nervios es como mucho de algunos milímetros.
- 20 23. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y una de las reivindicaciones 20 a 22, caracterizado porque los citados nervios son en el sentido de la longitud de la citada cinta (100).
24. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y una de las reivindicaciones 20 a 22, caracterizado porque los citados nervios son en el sentido de la anchura de la citada cinta (100).
- 25 25. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 23 y 24, caracterizado porque el citado relieve es en forma de gofre, constituido por un cuadrículado de nervios en el sentido de la longitud y de la anchura de la citada cinta.
26. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 5 y 23, caracterizado porque cada uno de los citados rodillos (92, 94) está formado por al menos dos moletas (102-108 y 118-124) de las que cada cara forma una cara de impresión, estando las citadas moletas separadas por un disco (110-116 y 126-132) que tiene una parte en saliente (134) por encima de la cara de impresión de las citadas moletas, estando constituida la citada superficie de impresión de los rodillos por las citadas caras de impresión de las citadas moletas que forman la texturización y/o el marcado de la citada capa de silicio y formando la citada parte en saliente (134) del disco escotaduras 136 en la cinta soporte (100) y que forman el citado relieve en forma de nervios en la capa de silicio.
- 30 27. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 16 y 26, caracterizado porque cada uno de los citados rodillos (92, 94) está compuesto por una sucesión de moletas (102-108 y 118-124) separadas por discos (110-116 y 126-132), teniendo cada uno de los citados discos una parte en saliente (134) por encima de la superficie de las citadas moletas que crean escotaduras (136) en la cinta soporte (100), constituyendo el espaciamiento entre las citadas escotaduras (136) el citado motivo que caracteriza a la citada placa o a la citada serie de placas de silicio policristalino.
- 35 28. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 5 y 24, caracterizado porque cada uno de los citados rodillos (92, 94) está formado al menos por dos moletas que giran alrededor de un eje de rotación y de las que cada cara forma una cara de impresión, comprendiendo al menos una de las citadas moletas ranuras longitudinales (134) paralelas al citado eje de rotación.
- 40

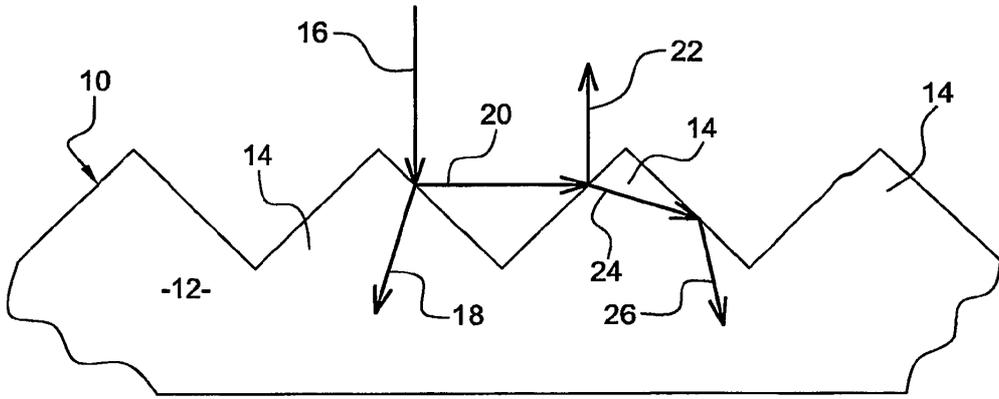


Fig. 1

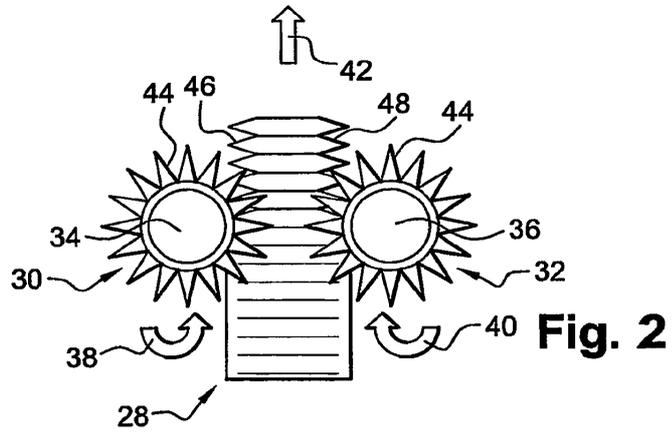


Fig. 2

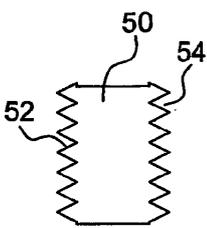


Fig. 3A

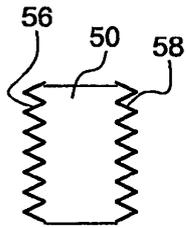


Fig. 3B

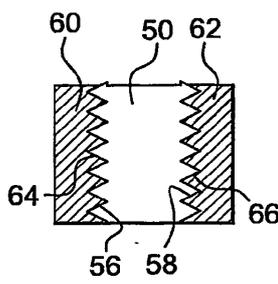


Fig. 3C

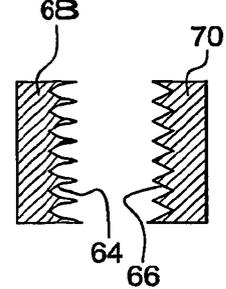


Fig. 3D

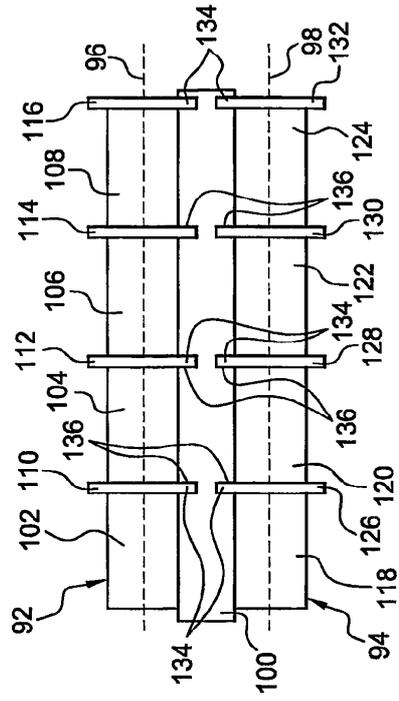


Fig. 5

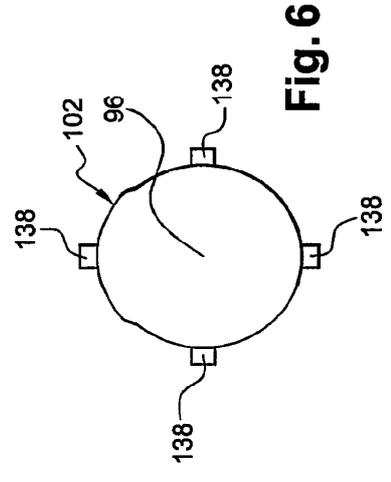


Fig. 6

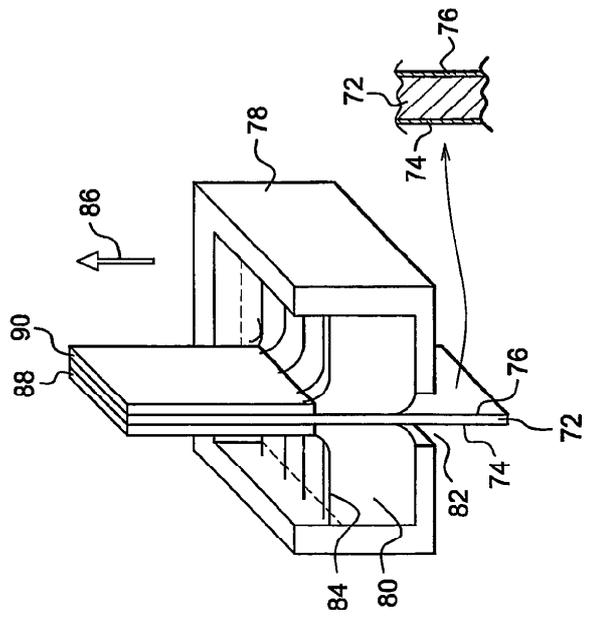


Fig. 4