

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 464 526**

51 Int. Cl.:

H01L 31/18 (2006.01)

H01L 31/0236 (2006.01)

H01L 21/67 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2011 E 11719784 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2014 EP 2564414**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de texturización mecánica de una oblea de silicio destinada a constituir una célula fotovoltaica**

30 Prioridad:

28.04.2010 FR 1053268

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

03.06.2014

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**GARANDET, JEAN-PAUL;
BANCILLON, JACKY;
FEDERZONI, LUC y
PIROT, MARC**

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 464 526 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento de texturización mecánica de una oblea de silicio destinada a constituir una célula fotovoltaica

5

Ámbito técnico

La invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento de texturización de una oblea de silicio destinada a constituir una célula fotovoltaica.

10

La invención se refiere asimismo a una oblea de silicio obtenida, en particular una oblea de multicristalino.

Técnica anterior

15 Las células fotovoltaicas (FV) se fabrican mayoritariamente a partir de silicio mono o multicristalino en hileras que aplican el procesamiento de obleas de silicio en un entorno de sala blanca. La primera de esta etapa es una texturización de la superficie de la oblea destinada a disminuir su reflectividad.

20 En el procedimiento estándar utilizado a escala industrial, los lingotes cristalizados son cortados con sierra de hilo en obleas que se texturizan por ataque químico para mejorar la captura de la luz. Para optimizar el procedimiento, se pretende en general obtener estructuras que tienen como tamaño algunos micrómetros. Este ataque químico puede realizarse bien en medio ácido o bien en medio básico.

25 En los dos casos mencionados anteriormente, la técnica permite efectivamente disminuir la reflectividad, pero tiene el inconveniente de requerir el procesamiento de cantidades importantes de efluentes químicos.

30 Se ha propuesto una vía alternativa, basada en un procedimiento de grabado mecánico (herramienta de estructura constituida por una pieza metálica micromecanizada con estrías en forma de V y revestida por una capa abrasiva constituida por granos de diamante) por la Universidad de Constanza [1]. El procedimiento ha demostrado su eficacia y su capacidad para no provocar defectos susceptibles de afectar a los rendimientos de conversión energética de las células FV. Asimismo, los problemas de productividad (duración de procesamiento de algunos segundos por placa) y del desgaste de las herramientas de estructura se han resuelto. Sin embargo, problemas de mecanizado (especialmente en lo que se refiere al radio de curvatura de las puntas) y de granulometría de los polvos de diamante limitan la eficacia del procedimiento. En la práctica, la resolución espacial del grabado se encuentra limitada normalmente a valores del orden de 50 μm .

35

40 En el otro extremo, en términos de escala, se pueden mencionar los trabajos realizados por grabado con una punta AFM [2]. Entonces es posible obtener motivos extremadamente finos y cuyas caras son muy limpias a escala submicrónica. Sin embargo, las velocidades de desplazamiento de la punta son muy lentas (en el mejor de los casos, el centenar de micrómetros por segundo) y por lo tanto incompatibles con un procedimiento industrial.

40

45 Por lo tanto no existe ningún procedimiento sencillo y eficaz que permita el grabado de alta velocidad de obleas de silicio para formar texturas de dimensión característica de aproximadamente la decena de micrómetros. El problema es aún más complejo debido a que el corte de los lingotes con sierra de hilo induce variaciones de grosor, que en el procedimiento clásico de abrasión por partículas de carburo de silicio, son del orden de 30-40 μm [3]. Incluso con procedimientos más sofisticados y más costosos con partículas de diamante, parece difícil bajar de una profundidad de 10 μm [3].

45

50 Además, se procede en general a un preprocesamiento químico que permite eliminar la zona endurecida en frío después del corte. Debido a la cinética de diferentes ataques según los granos cristalinos, este preprocesamiento también tiene como efecto aumentar la rugosidad de las obleas. En conclusión, las variaciones de cotas en las obleas listas para ser texturizadas son, salvo caso excepcional, significativamente superiores a 10 μm .

50

55 En estas condiciones, ninguna de las técnicas propuestas en la literatura permite realizar una texturización mecánica de una oblea de silicio con motivos de grabado de una profundidad del orden de la decena de μm .

55

60 El objeto de la invención es por lo tanto proponer una solución para realizar una texturización de una oblea de silicio con motivos de grabado uniformes de dimensión característica comprendida entre 5 y 50 μm en una superficie susceptible de presentar defectos de planeidad de entre 5 y 50 μm a velocidades compatibles con los imperativos de producción de las fábricas de células FV, típicamente una duración de texturización de algunos segundos por oblea de silicio.

60

Un objeto más general es proponer una solución simple de aplicar y eficaz.

Exposición de la invención

65

5 Para ello, la invención tiene por objeto un dispositivo de texturización mecánica de una oblea de silicio, destinada a constituir una célula fotovoltaica, que comprende una pluralidad de puntas de carburo de tungsteno y un soporte que comprende una pluralidad de alojamientos adaptados cada uno para alojar con deslizamiento una punta de carburo de tungsteno y medios para mantener apoyada cada una de la pluralidad de puntas contra la oblea de silicio según una fuerza constante independiente de las variaciones de grosor de dicha oblea.

Preferiblemente, el soporte está adaptado para alojar con deslizamiento libre las puntas. Los medios de mantenimiento del apoyo están entonces ventajosamente constituidos por el propio peso de cada una de las puntas.

10 Es decir, según la invención, se realiza una texturización por grabado mecánico utilizando un sistema de auto-regulación de la fuerza de apoyo adaptado a la texturización de obleas de silicio no planas a escala de algunas decenas de micrómetros.

15 Para resolver la dificultad vinculada a los defectos de planeidad, la invención utiliza un sistema en el que la pluralidad de las puntas de grabado se desliza libremente para seguir los cambios de nivel de la superficie que se ha de grabar. La fuerza de apoyo sigue siendo por lo tanto igual al peso de la punta, cualquiera que sea el nivel geométrico de la superficie que se ha de grabar. El desplazamiento vertical de las puntas es guiado por un soporte.

20 Se puede considerar que el principio del grabado que utiliza una masa pesada es conocido [4], pero la solución según este documento [4] US 4821250A es aplicada localmente por una punta para grabar un surco. Ahora bien, una especificidad de este problema que se encuentra en la base de la invención, es la necesidad de texturizar de manera colectiva, es decir simultáneamente en toda la superficie que se ha de grabar, una oblea de silicio para cumplir la especificación de duración de texturización.

25 De este modo, el dispositivo según la invención comprende una pieza de estructura (soporte) con alojamientos en los que se insertan las puntas. Estos alojamientos están desfasados los unos respecto de los otros por una distancia d que define el paso de grabado. Los alojamientos están separados unos de otros para asegurar la cohesión mecánica del conjunto. La parte inferior de los alojamientos tienen forma de trapecio, con un ángulo en el vértice superior al de las puntas para permitir su deslizamiento vertical.

30 Para obtener perfiles de grabado de una profundidad del orden de 5-20 μm , típica de lo que se aplica de manera convencional para las aplicaciones FV, se prefiere una fuerza de apoyo comprendida entre 0,1 y 2 N, preferiblemente 0,3 a 1 N. Ahora bien, no era en absoluto evidente que las obleas de silicio pudiesen aguantar sometidas al esfuerzo, pero las pruebas realizadas muestran que es el caso sin problema hasta fuerzas de apoyo de 2 N, salvo en el caso de obleas que presentan iniciaciones de ruptura importantes.

Otra dificultad se refiere al volumen geométrico del sistema. En efecto, las dimensiones de las puntas (asimiladas a paralelepípedos de base $L \times l$ y de altura H) y las de la zona gravante A y B están ligadas por las siguientes ecuaciones:

$$k \times (L + e1) = A \qquad y \qquad n \times (l + e2) = B$$

40 El dispositivo también está especificado por la tensión del paso de grabado d según:

$$n \times d = L + e1$$

45 Las referencias de las letras utilizadas para definir las dimensiones y los números enteros se muestran en las figuras 2 y 3.

La longitud A está fijada por la dimensión de las obleas que han de ser texturizadas, típicamente $A = 15 \text{ cm}$. Para fijar las ideas, tomando valores razonables para las dimensiones de los alojamientos y de los espaciamentos, $L = 4 \text{ mm}$, $l = 2 \text{ mm}$ y $e1 = e2 = 1$ y un paso de grabado d de 20 μm , las relaciones anteriores dan: $k = 30$, $n = 250$, $B = 0,75 \text{ m}$.

50 Ahora bien, si tal valor de B puede parecer elevado, es totalmente aceptable para una aplicación industrial, sobre todo si es posible texturizar varias placas alineadas según la dirección Y . Existen, asimismo, dos posibilidades para reducir la dimensión B : una texturización en varias pasadas con desfase de la herramienta en la dirección X perpendicular a la dirección de grabado Y (véanse las referencias de las direcciones en las figuras 2 y 3).

55 Esto equivale a redefinir la condición de igualdad anterior: $n \times d = L + e1$, en $n \times d = (L + e1)/j$ donde j es un número entero.

60 Con L dado, se pueden deducir entonces n y por lo tanto B de un factor j . Sin embargo, por razones de productividad, esta solución no es realista para valores de j superiores a 3.

Otra opción para reducir B sería disminuir la dimensión l , pero se plantea entonces el problema de alcanzar una masa razonable sin necesitar una altura H redhibitoria.

En efecto, con un material como el carburo de silicio de masa volumétrica ρ del orden de $3,2 \text{ kg/m}^3$, alcanzar una fuerza de $0,5 \text{ N}$ con un paralelepípedo de base $4 \times 2 \text{ mm}^2$ requeriría una altura de cerca de 2 m , lo que plantea problemas evidentes de volumen del dispositivo y de fragilidad de las puntas. Se trata de un problema fundamental que incluso el mantenimiento de B en un valor máximo de $0,75 \text{ m}$ y una texturización en $j = 5$ pasadas no permitiría resolver estos problemas. En efecto, manteniendo los valores $L = 4$, $e_1 = 1 \text{ mm}$ y un paso de grabado d de $20 \mu\text{m}$, se encuentra $k = 30$ y $n = 50$. Manteniendo $B = 0,75 \text{ m}$ y $e_2 = 1 \text{ mm}$, se podría tomar $l = 4 \text{ cm}$, para comparar con los 2 cm del caso anterior.

Incluso en estas condiciones extremas y no realistas para configuraciones industriales, se seguiría teniendo un valor H superior a 28 cm , que seguiría siendo límite para cuestiones de volumen del dispositivo y de fragilidad de las puntas. La utilización de diamante ($\rho = 3,5 \text{ kg/m}^3$) plantea un problema de costo y solo permite una mejora limitada (reducción de H de solo el 10%).

Los materiales duros conocidos por ser compatibles con el silicio (diamante, carburo de silicio) no están por lo tanto adaptados a la aplicación de la invención.

Para responder a esta dificultad, los autores de la invención han decidido probar como material gravante el carburo de tungsteno, cuya densidad superior a 15 kg/m^3 permite una ruptura real respecto del diamante o del carburo de silicio. Ahora bien, no era en absoluto evidente la utilización de este material como material de grabado de obleas de silicio para aplicaciones FV, ya que el tungsteno se encuentra entre los metales más nefastos para la vida útil de los portadores minoritarios y por lo tanto para el rendimiento de las células FV [5]. A modo de ejemplo, un contenido del orden de la parte por mil millones (ppb, o de manera equivalente $5 \cdot 10^{13} \text{ at/cm}^3$) basta para reducir en más del 40% el rendimiento de una célula FV en el silicio de tipo p . Sin embargo, los ensayos realizados han permitido mostrar que las propiedades electrónicas de las obleas no se verían afectadas, lo que valida la elección del carburo de tungsteno.

En la realización de la invención, la parte inferior de las puntas se presenta en forma de un prisma recto de base triangular, siendo elegido el ángulo en el vértice del triángulo en el intervalo de 20° - 60° , ventajosamente 30° - 45° . La parte superior de las puntas es preferiblemente un paralelepípedo, pero se pueden considerar otras formas. Para una forma paralelepípedica, las dimensiones características son:

- longitud L de 2 a 15 mm ,
- anchura l de 1 a 5 mm ,
- altura H de 1 a 25 cm .

El paso de grabado d definido como la distancia que separa dos puntas adyacentes se elige preferiblemente entre $5 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$, preferiblemente entre $5 \mu\text{m}$ y $40 \mu\text{m}$.

La velocidad de desplazamiento está comprendida entre 5 y 100 mm/s , preferiblemente entre 10 y 30 mm/s .

La pieza de estructura está realizada preferiblemente en materiales de tipo acero o superaleaciones a base de níquel. Cabe señalar que cualquiera que sea la configuración elegida, el número de puntas gravantes por placa será muy elevado, típicamente siempre de varios millares. Por lo tanto se puede ventajosamente automatizar la inserción de las puntas en su alojamiento respectivo.

En una variante de la invención, se aplica una presión gaseosa sobre las puntas para aumentar la fuerza de apoyo. A modo de ejemplo, una presión de 100.000 pascales (1 bar) que actúa sobre una superficie de 10 mm^2 corresponde a una fuerza de 1 N . Este modo de funcionamiento permite preservar el principio de una fuerza de apoyo independiente del nivel geométrico de la placa que se ha de grabar, pero se encuentra de nuevo la necesidad de tener puntas de superficie $L \times l$ suficiente.

La invención tiene entre otras ventajas:

- posibilidad de acceder a perfiles de texturización distintos de las pirámides para permitir la optimización de la captura de la luz: estos diferentes perfiles podrán ser alcanzados eligiendo diferentes formas geométricas de las puntas,
- posibilidad de ajustar la fuerza de apoyo jugando con las características geométricas de las puntas,
- las puntas que son piezas de desgaste se pueden fabricar con tecnologías de coste bajo de tipo de la metalurgia de los polvos,
- asociado a un procesamiento de imagen que permite identificar a partir de la cara de la oblea los grabados defectuosos, el procedimiento permite la sustitución selectiva solo de las puntas usadas,

- tiempo de texturización muy reducido y posibilidad de texturizar a la vez varias obleas posicionadas contiguas según la dirección Y.

5 La invención apunta por lo tanto en particular a una oblea de silicio multicristalino, destinada a constituir una célula fotovoltaica, en la que una superficie comprende motivos de grabado uniformes de profundidad comprendida entre 5 y 50 μm .

Breve descripción de los dibujos

10 Otras ventajas y características que se desprenderán mejor de la siguiente descripción realizada a modo ilustrativo con referencia a las siguientes figuras entre las que:

- la figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un dispositivo según la invención,

15 - la figura 2 es una vista superior de un dispositivo según la invención según una realización,

- la figura 3 es una vista superior de un dispositivo según la invención según otra realización.

Exposición detallada de realizaciones particulares

20 Como se muestra en la figura 1, un dispositivo según la invención 1 comprende un soporte 2 en el que están alojadas con deslizamiento libre una pluralidad de puntas idénticas 3.

25 Los alojamientos 20 son de forma paralelepípedica en su parte superior y con un ángulo en el vértice 200 de forma trapezoidal en su parte inferior 21.

La parte superior 30 de las puntas es de forma paralelepípedica y la parte inferior 31 es un prisma recto de forma triangular.

30 En posición de grabado, la parte triangular 31 de las puntas 3 está apoyada contra una oblea de silicio 4 con una fuerza constante independiente de las variaciones de grosor de la oblea 4.

Las puntas se realizan en carburo de tungsteno preferiblemente por una tecnología de sinterización.

35 El ángulo en el vértice de la parte inferior triangular 31 de las puntas es 30° inferior al 200 de la parte inferior 21 del soporte 2.

Las dimensiones de la parte paralelepípedica superior 30 de las puntas 3 son típicamente

40 $L = 5 \text{ mm}$, $l = 2 \text{ mm}$ y $H = 20 \text{ cm}$.

Los alojamientos 20 para las puntas están separados de $e_1 = e_2 = 1 \text{ mm}$. Con una densidad típica del carburo de tungsteno ρ del orden de 15 kg/m^3 , se llega a una masa de 30 g por punta 3 y por lo tanto una fuerza de apoyo por el propio peso de cada punto del orden de 0,3 N.

45 La texturización se realiza ventajosamente en tres pasadas con un paso d de 20 μm . También se puede realizar en una sola pasada gracias a un dispositivo según la figura 2 o dos pasadas con un dispositivo según la figura 3.

50 En el caso de la texturización en tres pasadas, la pieza de estructura o soporte 2 se realiza en acero inoxidable, con una zona funcional, es decir la que corresponde a la zona que se ha de grabar de dimensiones $A = 15 \text{ cm}$ y $B = 30 \text{ cm}$. Las dimensiones exteriores del soporte 2 son $A' = 20 \text{ cm}$, $B' = 35 \text{ cm}$ y $C = 15 \text{ cm}$. Las diferencias entre A y A' por una parte y B y B' por otra parte, están ligadas a un refuerzo mecánico del soporte 2 alrededor de la superficie $A \times B$ que comprende los alojamientos 20 de las puntas gravantes 3 de carburo de tungsteno.

55 El dispositivo con sus puntas 3 alojadas en su soporte 2 está posicionado sobre dos obleas de silicio de dimensiones $15 \times 15 \text{ cm}^2$ colocadas una tras otra.

El soporte 2 se desplaza entonces a una velocidad de 20 mm/s por encima de las dos obleas una seguida de otra para realizar la texturización. Los residuos de grabado se eliminan por soplado de aire comprimido.

60 También se puede realizar un ligero lavado en una solución ácida.

Referencias mencionadas

65 [1] : P. Fath, C. Borst, C. Zechner, E. Bucher, G. Willeke, S. Narayanan, "Progress in a novel high-throughput mechanical texturization technology for highly efficient multicrystalline silicon solar cells", Solar Energy Materials and Solar Cells 48

(1997) 229-236;

[2] : L. Santinacci, T Djenizian, P Schwauer, T Suter, A Etcheberry y P Schmuki, "Selective electrochemical gold deposition onto p-Si (100) surfaces", J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008) 175301;

5 [3] : D. Kray, M. Schumann, A. Eyer, G. P. Willeke, R. Kübler, J. Beinert y G. Kleer, "Solar wafer slicing with loose and fixed grains", Proc. 2006 'IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 7-12 de mayo de 2006, Hawai, vol. 1, 948-951;

10 [4] : Patente US 4821250A cuyo título es "Process and apparatus for the recording of an information signal";

[5] : J.R. Davis, Jr et al. «Impurities in silicon solar cells», IEEE Transactions on Electron Devices 27 (1980) 677-687.

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Dispositivo (1) de texturización mecánica de una oblea de silicio (4), destinada a constituir una célula fotovoltaica, que comprende una pluralidad de puntas (3, 30, 31) de carburo de tungsteno y un soporte (2) que comprende una pluralidad de alojamientos (20) adaptados cada uno para alojar con deslizamiento una punta de carburo de tungsteno y medios para mantener apoyada cada una de la pluralidad de puntas contra la oblea de silicio según una fuerza constante independiente de las variaciones de grosor de dicha oblea.
- 10 2.- Dispositivo según la reivindicación 1, en el que el soporte está adaptado para alojar con deslizamiento libre las puntas.
- 3.- Dispositivo según la reivindicación 2, en el que los medios de mantenimiento de apoyo están constituidos por el propio peso de cada una de las puntas (3, 30, 31).
- 15 4.- Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que las puntas tienen una parte inferior (31) en forma de un prisma recto de base triangular cuyo ángulo en el vértice es inferior al (200) de los alojamientos (20) adaptados para alojarlas.
- 20 5.- Dispositivo según la reivindicación 4, en el que el ángulo en el vértice del triángulo de las puntas (31) está comprendido entre 30 y 45°.
- 6.- Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el paso de grabado d está comprendido entre 5 μm y 40 μm.
- 25 7.- Procedimiento de texturización mecánica de una oblea de silicio (4), destinado a constituir una célula fotovoltaica, realizado por un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, según el cual se aplica una fuerza de apoyo constante comprendida entre 0,1 y 2 N.
- 30 8.- Procedimiento según la reivindicación 7, según el cual se aplica una fuerza de apoyo constante comprendida entre 0,3 N y 1 N.
- 9.- Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, según el cual al menos una parte de la fuerza de apoyo es generada por una presión de gas aplicada sobre las puntas.
- 35 10.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, según el cual el soporte se desplaza a una velocidad comprendida entre 5 y 100 mm/s.

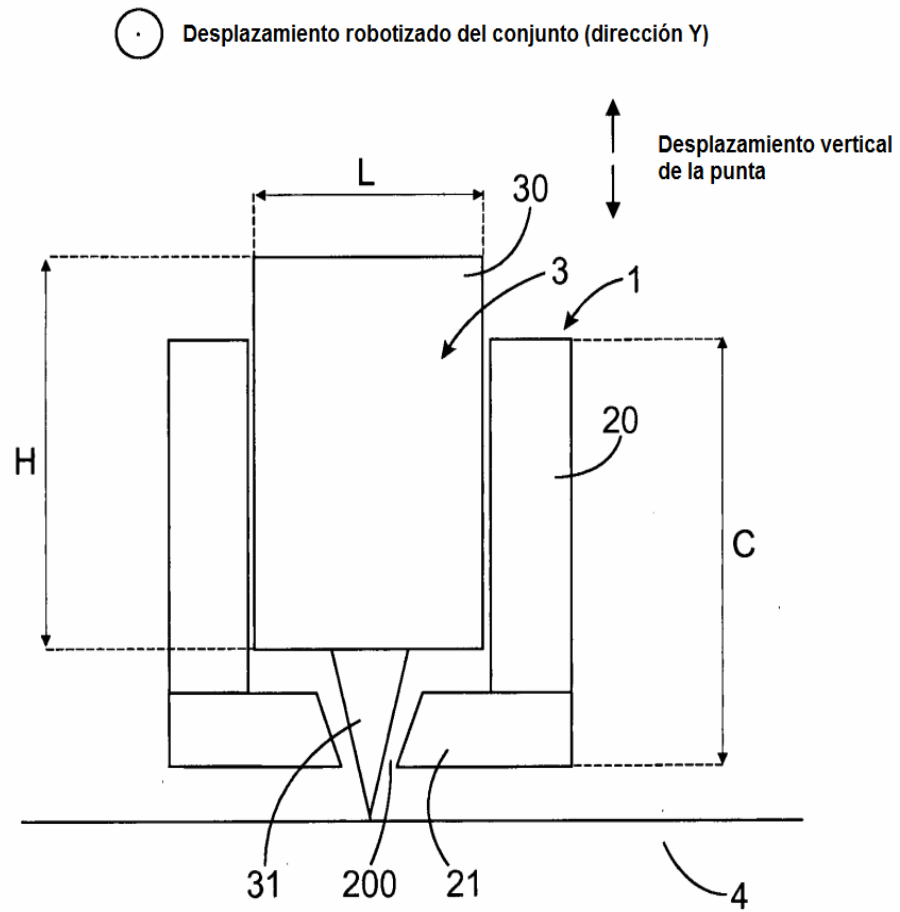


FIG.1

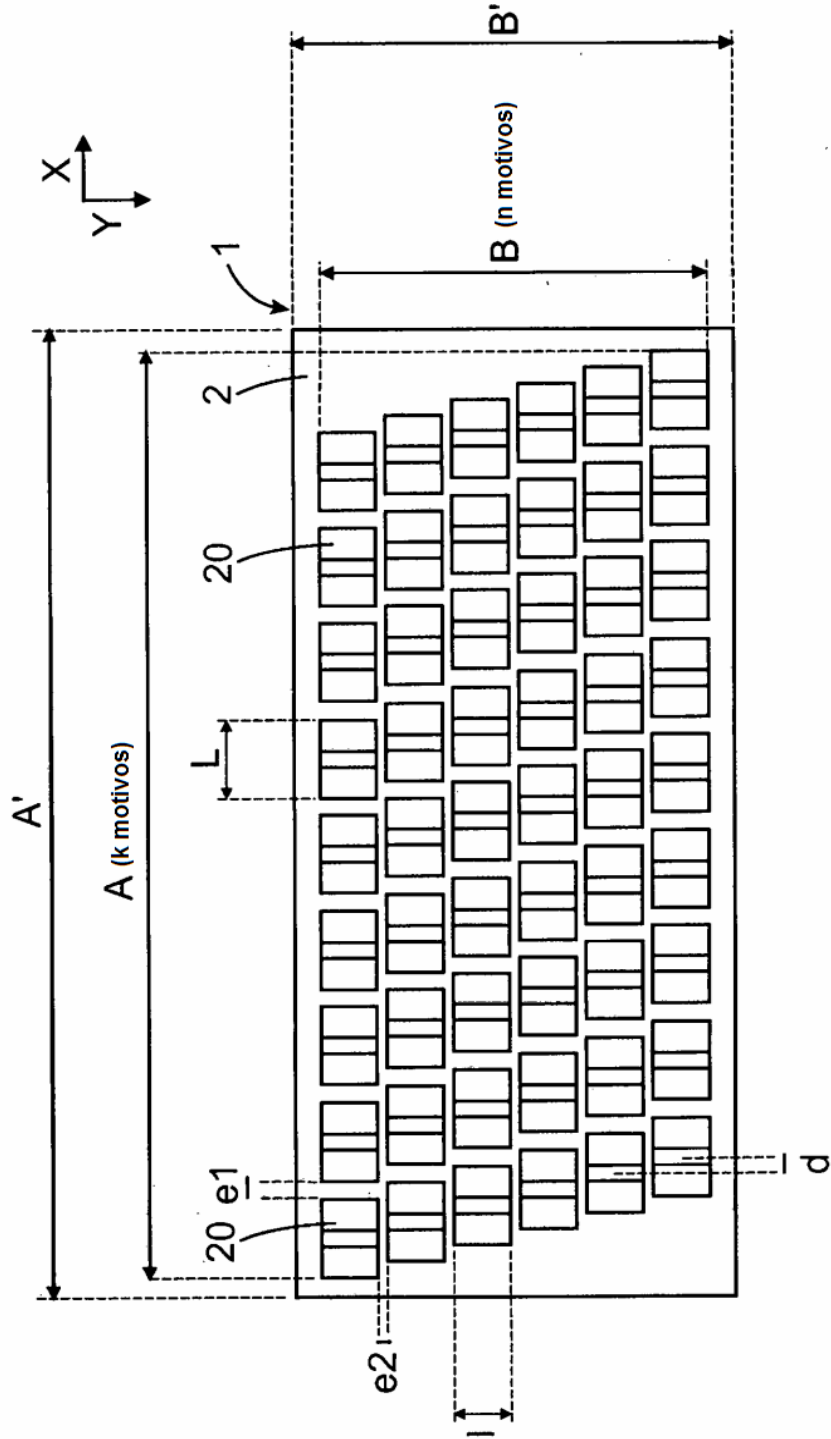


FIG.2

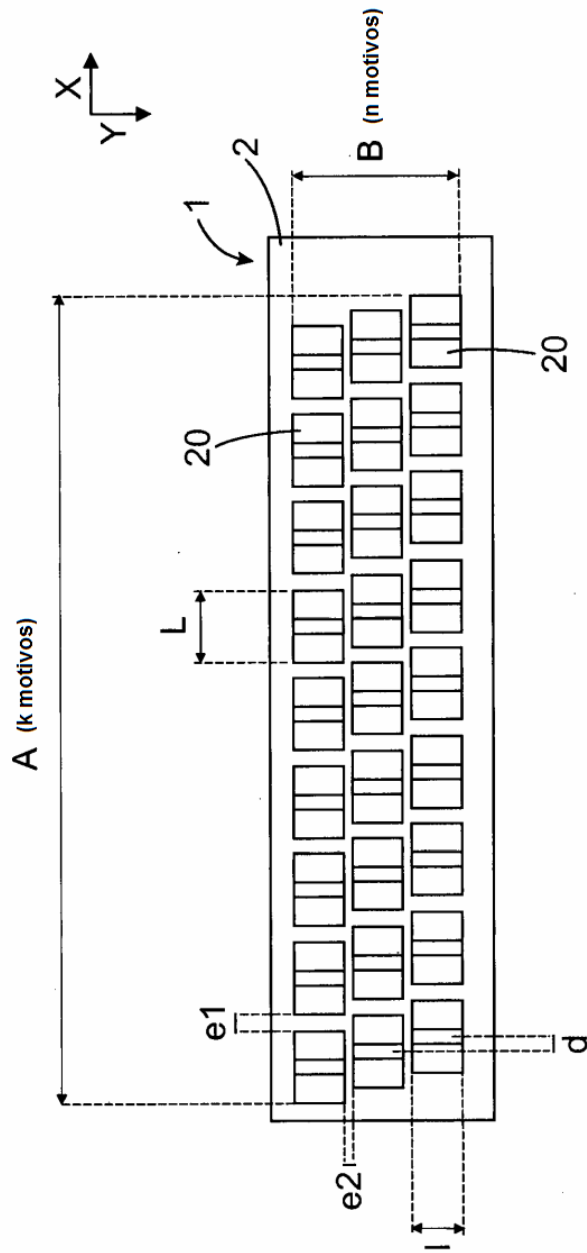


FIG.3