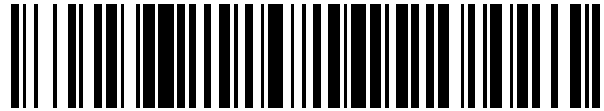


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 483 140**

51 Int. Cl.:

C01B 33/037 (2006.01)

C22B 9/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2009 E 09718612 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.05.2014 EP 2265547**

54 Título: **Procedimiento de purificación de silicio para aplicaciones fotovoltaicas**

30 Prioridad:

14.03.2008 FR 0851692

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.08.2014

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S) (50.0%)
3, rue Michel Ange
75016 Paris, FR y
INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**TRASSY, CHRISTIAN y
DELANNOY, YVES**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 483 140 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 purificación de silicio para aplicaciones fotovoltaicas.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de purificación de silicio para aplicaciones fotovoltaicas.

10 Antecedentes de la invención

10 Las aplicaciones fotovoltaicas - células solares fotovoltaicas - necesitan un silicio de pureza muy elevada, designada por la expresión "SoG-silicium" (acrónimo del término anglosajón "Solar Grade"). Típicamente, el contenido en impurezas debe ser del orden de 10^{-6} a 10^{-5} , es decir del orden de 1 a 10 ppm. Se trata de un contenido medio, no teniendo todos los elementos incluidos en el silicio la misma nocividad. Por ejemplo, el contenido en tungsteno (W) debe ser inferior a 0,01 ppm, en fósforo (P) inferior a 5 ppm y el contenido en boro (B) inferior a 1 ppm.

Para obtener un silicio de esta calidad, se conoce utilizar unos residuos de silicio de calidad electrónica.

20 Sin embargo, la demanda industrial de silicio de calidad fotovoltaica se ha vuelto tan elevada que estos residuos están en cantidad insuficiente para responder a la demanda del mercado; esta escasez se traduce en particular por una fuerte subida de los precios del silicio de calidad fotovoltaica.

25 Por otra parte, existe un procedimiento metalúrgico que consiste en gasificar el silicio, en efectuar una destilación de con el fin de un cloro-silano que debe después ser convertido en silano (SiH_4), y después sufrir un craqueo, permitiendo así obtener un polvo de silicio.

30 Sin embargo, este procedimiento se caracteriza por un gran número de operaciones, y la emisión de cloro durante la conversión del cloro-silano en silano. Además, la calidad del silicio metalúrgico es inferior a la calidad requerida para las aplicaciones fotovoltaicas.

Por lo tanto, se han desarrollado unos procedimientos, que consisten en someter silicio líquido al flujo de una antorcha de plasma en la que se añaden unos gases reactivos susceptibles de provocar la volatilización de las impurezas.

35 La reacción se produce en la interfaz líquido-plasma y necesita la renovación rápida de los gases y del líquido en esta interfaz.

40 Esta renovación se obtiene mediante una agitación electromagnética o una agitación por inyección de gas en el silicio líquido.

Sin embargo, se trata de un procedimiento discontinuo, denominado tratamiento por "batch". En efecto, el silicio está contenido en un crisol. La duración del tratamiento depende directamente de la superficie libre y del volumen del crisol.

45 Para lograr un procedimiento casi continuo, el documento JP 11-209195 propone la colocación en cascada de varios crisoles de silicio. Cada uno de estos crisoles está equipado de cañones de electrones, cuya función es asegurar el calentamiento de la sílice y la evaporación del fósforo.

50 Sin embargo, esta solución no es óptima, ya que si el silicio no es renovado en la superficie, la eficacia (es decir la velocidad de purificación) disminuye rápidamente, y cualquier agitación provoca, en el interior de un mismo crisol, la mezcla entre el silicio no purificado y el silicio purificado.

55 La multiplicación del número de crisoles permite reducir esta dificultad pero hace el procedimiento complejo. Necesita en particular unas operaciones de manutención numerosas y costosas. Multiplica por otra parte las fuentes, cañones de electrones o antorchas de plasma.

60 Uno de los objetivos de la invención es por lo tanto proponer un procedimiento de purificación de silicio que permita suprimir la mayoría de las operaciones de manutención. Otro objetivo de la invención es garantizar la ausencia de contaminación del silicio purificado por el silicio no purificado.

Breve descripción de la invención

65 De acuerdo con la invención, se propone un procedimiento de purificación de silicio por exposición de silicio líquido a un plasma, estando dicho procedimiento caracterizado por que el silicio fluye de manera continua en un canal, de tal manera que su superficie libre esté expuesta al plasma.

El caudal Q de silicio, la longitud L y la anchura I del canal están relacionados con la variación de la concentración C de impureza mediante la relación:

$$\frac{C}{C_0} = \exp\left(-\frac{1}{k} \frac{IL}{Q}\right)$$

5 en la que C₀ es la concentración inicial de la impureza y k es la constante de tiempo de purificación.

10 Según un primer modo de realización de la invención, una pluralidad de antorchas de plasma, que generan unos chorros de plasma, están dispuestas frente a la superficie libre del silicio.

De manera preferida, dichas antorchas están dispuestas al tresbolillo por encima del canal, de tal manera que los chorros de plasma cubren la anchura del canal.

15 Se puede efectuar, en la parte aguas arriba del canal, un tratamiento oxidante del silicio y, en su parte aguas abajo, una desoxigenación del silicio. Dicho tratamiento oxidante comprende la inyección, en el plasma, de oxígeno y de hidrógeno o de vapor de agua, o de una mezcla de estos gases. La desoxigenación comprende la exposición de un plasma de argón o de argón-hidrógeno.

20 Según otro modo de realización de la invención, el canal está dispuesto en una cuba circular provista de deflectores.

En este caso, dicha cuba está expuesta al plasma generado por una antorcha, de tal manera que el plasma generado por esta antorcha cubra una superficie cuyo diámetro es superior o igual al de la cuba.

25 De manera particularmente ventajosa, se controla el caudal de silicio en la entrada y/o en la salida del canal.

Otro objeto se refiere a un dispositivo de purificación de silicio, que comprende:

- un medio de alimentación de silicio líquido,
- un canal para la fluidez del silicio,
- 30 - unos medios de generación de plasma,

en el que el canal y los medios de generación del plasma están dispuestos de tal manera que la superficie libre del silicio que fluye en el canal esté expuesta al plasma.

35 El dispositivo comprende ventajosamente unos medios de control del caudal de silicio en la entrada y/o en la salida del canal.

40 El caudal Q de silicio, la longitud L y la anchura I del canal están relacionados con la variación de la concentración C de impureza mediante la relación:

$$\frac{C}{C_0} = \exp\left(-\frac{1}{k} \frac{IL}{Q}\right)$$

en la que C₀ es la concentración inicial de la impureza y k es la constante de tiempo de purificación.

45 Según un primer modo de realización del dispositivo, el plasma está generado por una pluralidad de antorchas dispuestas al tresbolillo por encima del canal.

50 Preferentemente, las antorchas situadas en la parte aguas arriba del canal comprenden unos medios de inyección, en el plasma, de un gas oxidante y la antorcha más aguas abajo comprende unos medios de inyección, en el plasma, de un gas desoxigenante.

55 Según otro modo de realización posible del dispositivo, el canal está dispuesto en el interior de una cuba circular por medio de deflectores, y el plasma está generado por una antorcha cuyo diámetro de flujo es superior o igual al de la cuba.

Según una variante, el canal está dispuesto en el interior de varias cubas circulares sucesivas provistas de deflectores.

Breve descripción de los dibujos

60 Otras características y ventajas de la invención aparecerán a partir de la descripción detallada siguiente, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista general del dispositivo de acuerdo con la invención,
- la figura 2 ilustra un primer modo de realización de la invención,
- la figura 3 ilustra un segundo modo de realización de la invención,
- 5 - la figura 4 presenta dos secciones longitudinales del canal con dos modos de realización posibles del fondo,
- la figura 5 es un gráfico que compara los rendimientos de los diferentes procedimientos.

Descripción detallada de la invención

10 En referencia a la figura 1, el dispositivo de acuerdo con la invención comprende un dispositivo 1 de fusión del silicio 3, un canal 4, unos medios 2 de generación de plasma, un molde para la solidificación del silicio (no representado).

Dispositivo de fusión del silicio

15 El dispositivo comprende en primer lugar un dispositivo 1 de fusión que permite hacer fundir el silicio sólido. Este dispositivo de fusión es conocido en sí mismo y por lo tanto no será objeto de una descripción detallada.

Comprende un crisol refractario, por ejemplo de sílice o de carbono, en el interior del cual los bloques de silicio se funden por calentamiento eléctrico directo o por inducción. La inducción presenta la ventaja de procurar una
20 agitación que mejora la transferencia de calor.

El crisol se alimenta continuamente con bloques de silicio con el fin de mantener un nivel de líquido constante en el interior del crisol.

25 El silicio introducido en la entada es un silicio metalúrgico (MG-Si) o un silicio metalúrgico mejorado (UMG-Si), de bajo contenido en impurezas metálicas.

Medios de generación de plasma

30 Se utiliza, para generar el plasma, una o varias antorchas de plasma 2 de tipo conocido.

Estas antorchas generan preferentemente un plasma de argón (Ar), al que se añaden uno o unos gases cuyas propiedades reactivas permiten la purificación del silicio reaccionando con el o los elementos que se desea eliminar del silicio. El plasma de argón tiene como función crear y mantener la ionización de los gases reactivos introducidos.
35

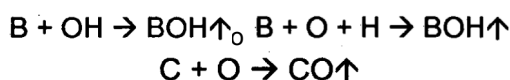
La antorcha de plasma 2 de geometría de revolución, genera un chorro de plasma 20 de forma sustancialmente cilíndrica, que se extiende cuando encuentra la superficie de silicio 3, como se representa en la figura 1.

40 Por ejemplo, las antorchas de plasma habitualmente disponibles en el comercio dispensan un chorro de plasma de 40 a 50 mm de diámetro, que permite cubrir una superficie de silicio del orden de 200 mm de diámetro. El experto en la materia adapta por lo tanto el número y la disposición de las antorchas de plasma en función de la superficie a cubrir.

Reacciones de purificación

45 El ciclo de purificación del silicio comprende típicamente al menos dos fases.

La primera fase consiste en un tratamiento oxidante que permite eliminar las impurezas tales como el boro y el carbono, según las reacciones siguientes:
50



55 La flecha vertical indica que los compuestos formados son volátiles.

Las especies introducidas O, H y/u OH son creadas a alta temperatura mediante inyección, en el plasma, de argón, de oxígeno y de hidrógeno o de vapor de agua, o de una mezcla de estos gases.

60 Esta primera fase de tratamiento se traduce por lo tanto por la disolución en el silicio de oxígeno y de hidrógeno. Sin embargo, siendo el oxígeno un inconveniente para las propiedades fotovoltaicas del silicio, este debe ser después eliminado.

65 Para ello, la segunda fase del tratamiento es una desoxigenación bajo el efecto de un plasma argón o argón-hidrógeno, que favorece la reacción siguiente:



En la purificación por plasma, la reacción entre las especies reactivas creadas por el plasma y el silicio se produce en la interfaz plasma-silicio.

5 Por lo tanto es necesario renovar rápidamente las fases líquidas y gaseosas cerca de esta interfaz, so pena de ralentizar fuertemente la reacción.

10 La renovación de la fase gaseosa es rápida debido a la velocidad de los gases del plasma, que es del orden de varias decenas de metros por segundo.

15 En lo que se refiere a la fase líquida, la renovación se efectúa, en los procedimientos por "batch", mediante una agitación electromagnética (descrita por ejemplo en el documento FR 2772741) o por el efecto mecánico de un chorro de plasma de velocidad muy alta (a este respecto, se podrá hacer referencia a la publicación de N. Yuge, H. Baba, Y. Sakaguchi, K. Nishikawa, H. Terashima, F. Aratami, «Purification of metalurgical silicon up to solar grade», Solar Energy Materials and Solar Cells 34 (1994) 243-250).

20 Esta agitación es tanto más necesaria cuanto más profunda es la cuba y más larga es la difusión de las impurezas del núcleo del líquido hacia la superficie.

Para reducir el efecto de la difusión, se necesita disminuir el grosor del volumen líquido; por el contrario, para tener una duración de exposición al plasma suficiente, es necesario aumentar la distancia recorrida por el líquido, y por lo tanto el tiempo de permanencia bajo la antorcha de plasma.

25 Un procedimiento de purificación continuo aplicado en una cuba profunda presenta poco interés debido a la necesidad de la agitación. En efecto, la agitación tendrá el efecto de mezclar el silicio contaminado que entra en la cuba con el silicio que ya habrá sido tratado por el plasma.

30 Por el contrario, la invención propone un procedimiento continuo en el que el silicio a purificar pasa bajo el plasma de tratamiento sin que le sea posible mezclarse. Esto implica que los intercambios en el grosor de la capa de silicio sean rápidos en comparación con el tiempo de permanencia bajo el plasma, es decir que el grosor de silicio sea muy reducido.

35 La velocidad de volatilización de las impurezas depende, en una primera aproximación, de la concentración en la fase líquida y de la superficie de reacción:

$$m_{\text{volitalizada}} = K.A.C_x$$

en la que:

- 40
- $m_{\text{volitalizada}}$ es la masa de impureza retirada del líquido por unidad de tiempo,
 - A es la superficie de contacto entre el plasma y el silicio líquido, denominada "superficie activa" de la cuba,
 - 45 - C_x es la concentración de la impureza x en el silicio,
 - k es la constante de reacción, en función de las condiciones de realización: temperatura del silicio, potencia del plasma, caudal de argón, naturaleza de los gases reactivos, concentración de los gases reactivos en el plasma.

50 Por otra parte, la constante de tiempo de purificación, k , depende del grosor de silicio líquido:

$$dC/C = k.A/V = k/h$$

55 en la que:

- V es el volumen de silicio,
- h es el grosor del silicio líquido.

60 Canal de purificación

Una de las originalidades de la invención reside en la fluidez continua del silicio líquido en un canal 4 expuesto en todo momento - o en la mayoría de su recorrido - al plasma 20. La búsqueda de la eficacia máxima conduce a recomendar una exposición total.

65

Este canal está dispuesto en un recinto del cual se controla la atmósfera.

5 Por canal, se entiende en este documento un conducto, que puede ser de sección rectangular o semicircular o elíptica, provisto de una entrada y de una salida para permitir la fluidez de un fluido, siendo la profundidad del conducto reducida frente a su longitud; se precisa que además, la sección de tal conducto esté abierta en su parte superior de tal manera que la superficie libre del fluido que fluye en él sea accesible por los gases reactivos y el plasma.

10 El dimensionamiento del canal está además íntimamente relacionado con el tiempo de exposición al plasma. En efecto, es necesario respetar una relación de tiempo de exposición/grosor de silicio tal que las impurezas tengan el tiempo de difundirse hacia la superficie para ser volatilizadas y eliminadas. Así, para obtener unos resultados satisfactorios, esta relación puede ser determinada utilizando la relación:

$$\frac{C}{C_0} = \exp\left(-\frac{1}{k} \frac{IL}{Q}\right),$$

15 en la que C_0 es la concentración inicial de impureza considerada, Q es el caudal de silicio líquido, l la anchura del canal y L la longitud del canal.

20 El tiempo de permanencia depende de la concentración en la entrada y de la concentración deseada en la salida; este tiempo de permanencia es controlado por el caudal de silicio líquido en la entrada del reactor.

25 Para limitar la mezcla entre aguas arriba y aguas abajo, la relación longitud/anchura del canal debe ser superior a 10, sin que haya limitación superior, y la relación profundidad/anchura del canal debe ser inferior a 0,3. El límite inferior está simplemente determinado por la necesidad de mantener un grosor controlado de silicio líquido.

El recorrido del canal 4 puede tomar diferentes formas. El canal puede así ser rectilíneo o estar formado de varias porciones rectilíneas, pero puede también estar dispuesto en el interior de una superficie dada - por ejemplo circular, mediante deflectores.

30 Para mejorar la agitación, la superficie interna del canal puede ser rugosa o texturizada o preferentemente presentar unas ondulaciones o un perfil en diente de sierra cuya amplitud es al menos igual a la mitad de la altura del canal. El objetivo es aumentar la turbulencia local para mejorar la agitación y la homogeneización local del baño de silicio líquido. La figura 4 ilustra dos configuraciones posibles del fondo del canal 4, estando el flujo de silicio 3 representado por una flecha.

35 La temperatura del canal debe ser adaptada de tal manera que el silicio permanezca líquido - siendo la temperatura de fusión del silicio del orden de 1414°C - manteniendo al mismo tiempo esta temperatura por debajo de 1700°C para limitar la evaporación térmica del silicio.

40 Para ello, se utiliza un canal de grafito, o de sílice, o cualquier otro material refractario compatible con el silicio. Este canal puede ser calentado directamente, por ejemplo por inducción, en el caso del grafito, o bien calentado por medio de un suscepto (es decir un elemento de calentamiento indirecto acoplado con un dispositivo de calentamiento por inducción) cuando es de material no conductor. Está provisto de medios de regulación de la temperatura.

45 Según un primer modo de realización, ilustrado en la figura 2, el canal 4 está dispuesto en una cuba circular 5 de poca profundidad por medio de una serie de deflectores 50, siendo la superficie de la cuba 5 tal que está totalmente expuesta al chorro de plasma procedente de una única antorcha de geometría circular. El diámetro interno de la antorcha está comprendido entre 40 y 160 mm, en función de la potencia (de 10 kW a 1 MW).

50 El diámetro de la cuba es función de la potencia y del diámetro de las antorchas; está comprendido entre 10 cm y 1 m.

55 Así, se fuerza el silicio a recorrer una distancia importante bajo el plasma, y por lo tanto a permanecer mucho tiempo debajo del flujo de plasma.

60 En función del tiempo de exposición requerido y/o de la potencia de las antorchas de plasma utilizadas, se pueden disponer eventualmente en serie varias cubas 5 que comprenden tales deflectores. La figura 2 ilustra así un dispositivo con un canal dispuesto en el interior de dos cubas circulares 5 sucesivas. En este caso, la o las antorchas de plasma son preferentemente unas antorchas de alta potencia, es decir de más de 10 o 20 kW.

Según un segundo modo de realización, se dispone encima de un canal rectilíneo una pluralidad de antorchas de plasma de tal manera que toda la superficie libre del silicio esté expuesta al plasma. De manera ventajosa, se

utilizan para ello unas antorchas de plasma de baja potencia dispuestas al tresbolillo por encima del canal, tal como se ilustra en vista por arriba en la figura 3. En esta figura, los círculos representan el diámetro de las antorchas 2, pero se recuerda que la superficie cubierta por el plasma tiene un diámetro de tres a diez veces superior en función de la velocidad de los gases procedentes del plasma. Así, toda la superficie libre del silicio está expuesta al plasma. Según este modo de realización, se podría tolerar que una pequeña porción de la superficie libre no esté expuesta al plasma, pero esto se haría en detrimento del rendimiento del procedimiento.

De manera particularmente ventajosa, esta configuración permite introducir en las diferentes antorchas de plasma unos gases diferentes, con el fin de efectuar, durante el flujo del silicio, una pluralidad de tratamientos sucesivos adaptados a la composición inicial del silicio.

En particular, se puede efectuar ventajosamente el tratamiento oxidante mediante antorchas de plasma situadas por encima de la parte aguas arriba del canal, y efectuar bajo la antorcha situada más aguas abajo el tratamiento de desoxigenación. Así, al final del procedimiento, el silicio ha sufrido todas las etapas de tratamiento necesarias, mientras que en un tratamiento clásico por "batch", las dos fases están encadenadas sucesivamente.

Sea cual sea el modo de realización aplicado, el canal permite impedir cualquier mezcla entre el silicio contaminado entrante y el silicio purificado saliente, asegurando al mismo tiempo una agitación local por medio del plasma.

Dimensionamiento del canal

Como se ha expuesto antes, el dimensionamiento del canal depende de varios parámetros. Los parámetros principales son:

- el porcentaje de purificación deseado, expresado en forma de relación C/C_0 , en la que C es la concentración final deseada de la impureza y C_0 la concentración inicial;
- la constante de tiempo de purificación k, que depende esencialmente del contenido en gases reactivos del plasma y de la temperatura de superficie del silicio, en particular, la constante k disminuye con la temperatura del silicio. El experto en la técnica sabe medir este tamaño;
- el tiempo de permanencia del silicio bajo el plasma;
- el caudal de silicio líquido.

Concretamente, para dimensionar el canal, el experto en la técnica podrá emplear los pasos siguientes:

- partiendo del nivel de purificación deseado, determinará el tiempo de permanencia necesario bajo el plasma;
- teniendo en cuenta el coeficiente k, podrá deducir la temperatura y la concentración de los gases;
- deducirá después el caudal de silicio y las dimensiones (sección, longitud) del canal.

El grosor de silicio líquido depende del modo de realización del procedimiento de purificación. En efecto, un grosor reducido permite facilitar la evaporación de las impurezas, pero cuanto más bajo sea este grosor, más delicado es el control térmico, evaporándose el silicio más fácilmente, generando así una disminución de rendimiento. Las transferencias de calor entre el silicio y el plasma pueden ser modelizados por medio de códigos de cálculo conocidos por el experto en la materia.

Por ejemplo, si se utiliza una antorcha de plasma de gran dimensión o de fuerte potencia, se empleará un grosor mayor de silicio para evitar los riesgos de sobrecalentamiento.

Medios de control del caudal de silicio

Además del grosor del silicio líquido en el canal, un parámetro esencial del procedimiento de purificación es la duración de exposición al plasma. En efecto, cuanto más larga sea la exposición al plasma, más elevado es el nivel de purificación del plasma.

El dominio de esta duración de exposición se efectúa mediante el control del caudal de silicio en la entrada y en la salida del canal. Se utilizan para ello unas válvulas electromagnéticas o cualquier otro dispositivo que permita un control del caudal sin introducir contaminación adicional.

Solidificación del silicio

Por último, la salida del canal desemboca en un crisol en el que el silicio purificado se enfría y se cristaliza.

Resultados comparativos

La figura 5 compara los tiempos de tratamiento requerido para reducir en una relación dada las concentraciones de impurezas con diferentes procedimientos:

- 5
- la curva (a) ilustra el resultado obtenido con un procedimiento semicontinuo por "batch" con una sola cuba;
 - la curva (b) ilustra el resultado obtenido con un procedimiento semicontinuo por "batch" con dos cubas dispuestas en serie;
- 10
- la curva (c) ilustra el resultado obtenido con el procedimiento continuo de acuerdo con la invención.

Estos resultados confirman que el procedimiento de acuerdo con la invención permite obtener un silicio cuya pureza es del mismo orden de tamaño que los procedimientos por "batch" de la técnica anterior, pero en un tiempo de tratamiento claramente reducido.

15

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento de purificación de silicio por exposición de silicio líquido (3) a un plasma (20), caracterizado por que el silicio (3) fluye de manera continua en un canal (4) de tal manera que su superficie libre esté expuesta al plasma (20), siendo la relación entre el tiempo de exposición al plasma y el grosor del silicio en el canal tal que las impurezas tengan el tiempo de difundirse hacia la superficie para ser volatilizadas y eliminadas.

10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el caudal (Q) de silicio, la longitud (L) y la anchura (l) del canal (4) están relacionados con la variación de concentración (C) de impureza mediante la relación:

$$\frac{C}{C_0} = \exp\left(-\frac{1}{k} \frac{Ll}{Q}\right)$$

en la que C_0 es la concentración inicial de la impureza y k es la constante de tiempo de purificación.

15 3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que una pluralidad de antorchas de plasma (2) que generan unos chorros de plasma (20) están dispuestas frente a la superficie libre del silicio (3).

20 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que las antorchas (2) están dispuestas al tresbolillo por encima del canal (4) de tal manera que los chorros de plasma (20) cubren la anchura del canal (4).

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que en la parte aguas arriba del canal se efectúa un tratamiento oxidante del silicio, y por que en la parte aguas abajo del canal se efectúa una desoxigenación del silicio.

25 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que el tratamiento oxidante comprende la inyección, en el plasma (20), de oxígeno y de hidrógeno o de vapor de agua, o de una mezcla de estos gases.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 o 6, caracterizado por que la desoxigenación comprende la exposición a un plasma (20) de argón o de argón-hidrógeno.

30 8. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el canal (4) está dispuesto en una cuba circular (5) provista de deflectores (50).

35 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que la cuba (5) está expuesta al plasma (20) generado por una antorcha (2), cubriendo dicho plasma una superficie cuyo diámetro es superior o igual al de dicha cuba.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que se controla el caudal de silicio a la entrada y/o a la salida del canal (4).

40 11. Dispositivo de purificación de silicio, caracterizado por que comprende:

- un medio (1) de alimentación de silicio líquido (3);
- un canal (4) para el flujo del silicio;
- unos medios (2) de generación de plasma (20);

45 estando el canal (4) y los medios (2) de generación de plasma dispuestos de tal manera que la superficie libre del silicio (3) que fluye en el canal (4) esté expuesta al plasma (20).

50 12. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado por que comprende unos medios de control del caudal de silicio a la entrada y/o a la salida del canal (4).

13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 11 a 12, caracterizado por que el plasma está generado por una pluralidad de antorchas dispuestas al tresbolillo por encima del canal.

55 14. Dispositivo según la reivindicación 13, caracterizado por que las antorchas (2) situadas en la parte aguas arriba del canal (4) comprenden unos medios de inyección, en el plasma (20), de un gas oxidante, y por que la antorcha más aguas abajo comprende unos medios de inyección, en el plasma, de un gas desoxigenante.

60 15. Dispositivo según una de las reivindicaciones 11 a 12, caracterizado por que el canal (4) está dispuesto en el interior de una cuba circular (5) por medio de deflectores (50), y por que el plasma (20) está generado por una antorcha (2) cuyo diámetro de flujo es superior o igual al de la cuba.

65 16. Dispositivo según la reivindicación 15, caracterizado por que el canal (4) está dispuesto en el interior de varias cubas circulares (5) sucesivas provistas de deflectores (50).

FIG. 1

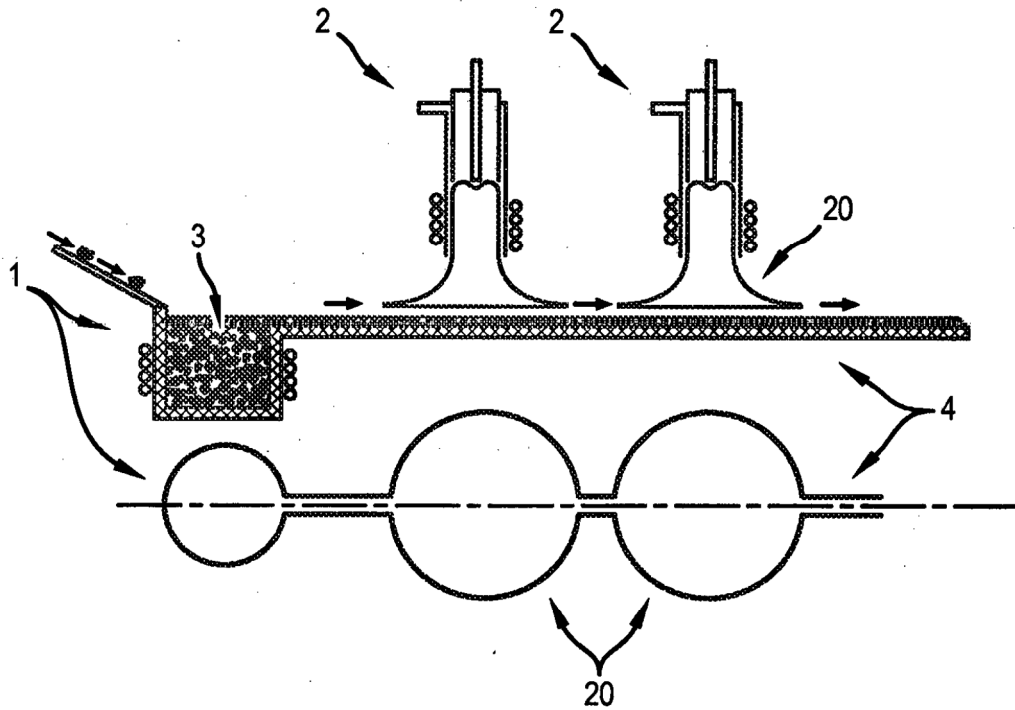


FIG. 2

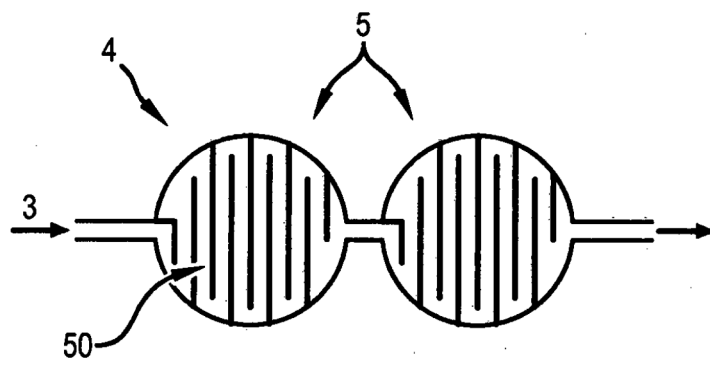


FIG. 3

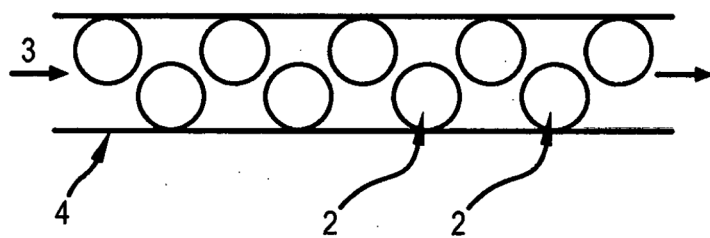


FIG. 4

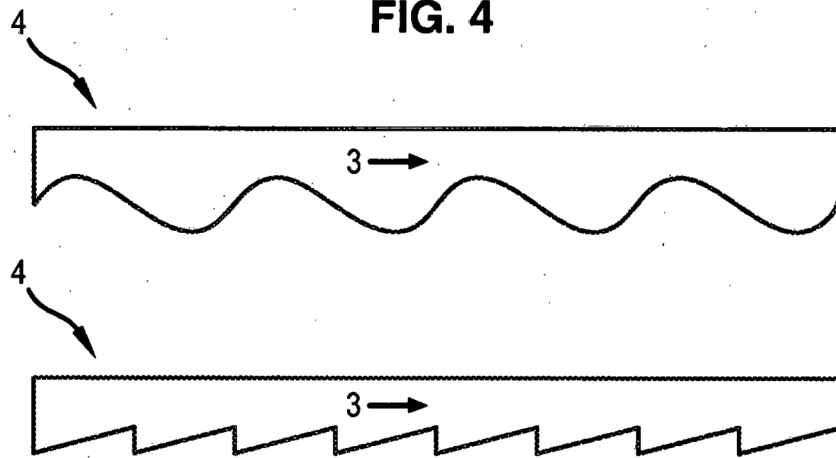


FIG. 5

