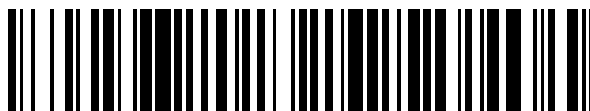


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 561 004**

51 Int. Cl.:

C01B 33/02 (2006.01)

C01B 33/021 (2006.01)

C01B 33/035 (2006.01)

C30B 13/00 (2006.01)

C23C 16/24 (2006.01)

G01J 3/28 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2013 E 13151468 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.11.2015 EP 2620412**

54 Título: **Procedimiento para la determinación de una impureza de superficie de silicio policristalino**

30 Prioridad:

24.01.2012 DE 102012200994

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

23.02.2016

73 Titular/es:

**WACKER CHEMIE AG (100.0%)
Hanns-Seidel-Platz 4
81737 München, DE**

72 Inventor/es:

**WOCHNER, HANNS DR. y
BAUMANN, ROBERT DR.**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 561 004 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 para la determinación de una impureza de superficie de silicio policristalino

Objeto de la invención es un procedimiento para la determinación de una impureza de superficie de silicio policristalino.

- 5 A escala industrial, el silicio bruto se obtiene mediante la reducción de dióxido de silicio con carbono en el horno de arco eléctrico a temperaturas de aproximadamente 2000°C.

En este caso, se obtiene el denominado silicio metalúrgico (Si_{mg} , "calidad metalúrgica") con una pureza de aproximadamente 98-99%.

- 10 Para aplicaciones en la industria fotovoltaica y en la industria microelectrónica, el silicio metalúrgico debe ser limpiado. Para ello, éste se hace reaccionar, por ejemplo, con cloruro de hidrógeno gaseoso a 300-350 °C en un reactor de lecho fluido para formar un gas con contenido en silicio, por ejemplo triclorosilano. A ello le siguen etapas de destilación con el fin de limpiar el gas con contenido en silicio.

Este gas con contenido en silicio muy puro sirve entonces como material de partida para la producción de silicio policristalino muy puro.

- 15 El silicio policristalino, denominado a menudo también brevemente polisilicio, se produce habitualmente mediante el proceso Siemens. En este caso, en un reactor en forma de campana ("reactor Siemens") se calientan delgadas varillas filamentosas a base de silicio mediante el paso directo de corriente y se introduce un gas de reacción que contiene un componente con contenido en silicio e hidrógeno.

- 20 El componente con contenido en silicio del gas de reacción es, por norma general, monosilano o un halógeno-silano de la composición general SiH_nX_{4-n} ($n = 0, 1, 2, 3$; $X = Cl, Br, I$). Preferiblemente, se trata de un clorosilano, de manera particularmente preferida de triclorosilano. Predominantemente, se emplea SiH_4 o $SiHCl_3$ (triclorosilano, TCS) en mezcla con hidrógeno.

- 25 En el proceso Siemens, las varillas filamentosas están insertadas habitualmente de manera vertical en electrodos que se encuentran en el fondo del reactor, a través de los cuales tiene lugar la conexión al abastecimiento de corriente. En cada caso dos varillas filamentosas están acopladas a través de un puente horizontal (asimismo de silicio) y forman un cuerpo de soporte para la separación de silicio. Mediante el acoplamiento del puente se genera la forma en U típica de los cuerpos de soporte denominados también varillas delgadas.

En las varillas calentadas y en el puente se separa polisilicio muy puro, con lo que el diámetro de la varilla aumenta con el tiempo (CVD = Chemical Vapour Deposition / deposición química de vapor).

- 30 Después de finalizada la separación, estas varillas de polisilicio se continúan elaborando habitualmente mediante tratamiento mecánico para formar fragmentos de diferentes clases de tamaño, eventualmente se someten a una purificación química en húmedo y finalmente se empaquetan.

El polisilicio puede continuar elaborándose, sin embargo, también en forma de varillas o trozos de varillas. Esto se cumple, en particular, para uso del polisilicio en el proceso FZ.

- 35 Junto a ello, es también conocido exponer pequeñas partículas de silicio en un reactor de lecho fluido directamente a un gas de reacción de este tipo. El silicio policristalino generado en este caso se presenta en forma de granulados (granulado-poli).

- 40 El silicio policristalino (abreviadamente: polisilicio) sirve como material de partida en la producción de silicio monocristalino mediante estirado en crisol (proceso de Czochralski o CZ) o mediante fusión por zonas (proceso de zona flotante o FZ). Este silicio monocristalino se separa en discos (obleas) y se utiliza, después de una pluralidad de tratamientos mecánicos, químicos y químico-mecánicos, en la industria de los semiconductores para la producción de elementos constructivos electrónicos (chips).

- 45 En particular, sin embargo, el silicio policristalino se necesita en creciente medida para la producción de silicio monocristalino o multicristalino por medio de procedimientos de estirado o colada, sirviendo este silicio monocristalino o multicristalino para la producción de células solares para la industria fotovoltaica.

Dado que los requisitos de calidad exigidos al polisilicio son cada vez mayores, son indispensables controles de calidad durante toda la cadena del proceso. El material es examinado, por ejemplo, en relación con contaminaciones con metales o sustancias de dopaje. Se ha de diferenciar la contaminación a granel y la contaminación en la superficie de los fragmentos o trozos de varillas de polisilicio.

5 Es habitual, con el fin del control de calidad, transformar el polisilicio generado en un material monocristalino. En este caso, se examina el material monocristalino. También aquí juegan un papel particular contaminaciones de metales que se han de evaluar de manera particularmente crítica en los procesos de clientes en la industria de los semiconductores. Sin embargo, también se examina el silicio en relación con el carbono, así como sustancias de dopaje tales como aluminio, boro, fósforo y arsénico.

10 Las sustancias de dopaje (B, P, As, Al) se analizan mediante fotoluminiscencia según SEMI MF 1398 en un monocristal de FZ generado a partir del material policristalino (SEMI MF 1723).

Alternativamente, pasa a emplearse FTIR a baja temperatura (espectroscopía IR transformada de Fourier) (SEMI MF 1630).

Los fundamentos del proceso FZ se describen, por ejemplo, en el documento DE 3007377 A.

15 En el proceso FZ se funde poco a poco una varilla de reserva policristalina con ayuda de una bobina de alta frecuencia, y el material líquido fundido se transforma en un monocristal mediante la inoculación con un cristal de inoculación monocristalino y subsiguiente recristalización. En el caso de la recristalización, el diámetro del monocristal resultante se aumenta primeramente en forma de cono (formación del cono) hasta que se haya alcanzado un diámetro final deseado (formación de varilla). En la fase de la formación del cono, el monocristal es sustentado también mecánicamente con el fin de descargar al cristal de inoculación delgado.

20 De la varilla monocristalina creada a partir de una varilla de silicio policristalina mediante FZ, se corta un disco (oblea) (SEMI MF 1723). A partir de la varilla monocristalina estirada se recorta un pequeño disco, se ataca químicamente con HF/HNO₃, se lava con 18 MOHm de agua y se seca. En este disco se llevan a cabo las mediciones de fotoluminiscencia.

25 La FTIR (SEMI MF 1188, SEMI MF 1391) posibilita la determinación de concentraciones de carbono y oxígeno.

En este caso, de una varilla policristalina se recorta un pequeño disco. El pequeño disco se pule. A continuación, mediante espectroscopía FTIR, se determina el contenido en carbono.

Ambos procesos (fotoluminiscencia) y FTIR sirven exclusivamente para la determinación de impurezas a granel.

Las impurezas en la superficie pueden determinarse sólo de forma indirecta.

30 El documento DE 10 2008 040231 A1 da a conocer la producción de un fragmento de silicio policristalino de elevada pureza, así como un procedimiento de purificación. Muestras de fragmento de polisilicio pueden elaborarse y someterse a un procedimiento analítico para la determinación del contenido en metal de las superficies de los fragmentos.

35 El documento DE 10 2006 035081 A1 da a conocer un procedimiento para la producción de un fragmento de polisilicio clasificado muy puro, en el que un polisilicio del proceso Siemens se desmenuza y clasifica mediante un dispositivo que comprende útiles de desmenuzamiento y un dispositivo de tamiz, y el fragmento de polisilicio, obtenido de esta manera, se purifica mediante un baño de purificación, en donde los útiles de desmenuzamiento y el dispositivo de tamizado poseen, en general, una superficie que entra en contacto con el polisilicio a base de un material que impurifica al fragmento de polisilicio sólo con aquellas partículas extrañas que son separadas a continuación de manera preestablecida a través del baño de purificación.

40 El documento EP 0 345 618 B1 da a conocer una varilla de silicio policristalina con menos de 15 ppta de boro y menos de 20 ppta de fósforo. A partir de una varilla de este tipo se puede generar, mediante procedimientos de zonas oscilantes, silicio monocristalino con una resistencia específica de al menos 10.000 Ohmcm y una vida útil de al menos 10.000 µs.

45 El documento DE 41 37 521 A1 describe un proceso para el análisis de la concentración de impurezas en partículas de silicio, caracterizado por que silicio en forma de partículas se añade a un recipiente de silicio, el silicio en forma de partículas y el recipiente de silicio se tratan para formar silicio monocristalino en una zona oscilante y se

- determina la concentración de las impurezas que están presentes en el silicio monocristalino. Se determinan las concentraciones de boro, fósforo, aluminio y carbono en el recipiente de silicio utilizado y proporcionan un valor de fondo reproducible. Los valores de boro, fósforo y carbono, determinados según el proceso de zonas oscilantes mediante FTIR, se corrigieron en la proporción que procedía del recipiente de silicio. En esta solicitud se muestra también que la fragmentación de una varilla de silicio policristalino conduce a una contaminación del silicio. Esto es posible al añadir fragmentos de silicio al recipiente de silicio, someterlos al proceso de zonas oscilantes y, a continuación, examinarlos en cuanto a impurezas mediante FTIR. Dado que se conoce la contaminación del material base antes de la fragmentación, puede deducirse la contaminación adicional mediante la fragmentación.
- 5
- El documento DE 43 30 598 A1 da a conocer un procedimiento que posibilita deducir la impureza de silicio como consecuencia de procesos de desmenuzamiento. Un bloque de silicio se fragmentó en pedazos. El pedazo de silicio se sometió a continuación a un proceso de fundición en zonas y se transformó en un monocristal. Del monocristal se separó mediante aserrado una oblea y se examinó mediante fotoluminiscencia en cuanto a boro y fósforo. Frente al contenido medio en boro y fósforo del bloque de silicio utilizado se manifiesta un aumento de la concentración de boro y fósforo que, entre otros, se ha de atribuir también al proceso de desmenuzamiento.
- 10
- Sin embargo, los procesos descritos no tienen en cuenta que también el entorno, en el que no sólo tiene lugar el proceso de desmenuzamiento, sino también otras etapas del proceso tales como almacenamiento, transporte, purificación, empaquetado, tiene influencia sobre la contaminación del silicio, en particular sobre su contaminación en superficie.
- 15
- Un procedimiento puramente analítico para fines de ensayo es a este respecto insuficiente.
- A partir de la problemática descrita resultó el planteamiento del problema de la invención.
- 20
- El problema se resuelve mediante un procedimiento para la determinación de una impureza en superficie de silicio policristalino, que comprende las etapas
- a) proporcionar dos varillas de silicio policristalino mediante separación en un reactor Siemens;
- b) impurezas con carbono y sustancias de dopaje en la primera de las dos varillas se determinan inmediatamente después de la separación, en donde de esta varilla se separa un disco y se utiliza para la determinación de la concentración de carbono mediante FTIR, en donde una varilla que permanece después de la separación del disco de esta varilla se transforma, mediante FZ, en una varilla monocristalina, en donde en un disco separado de la varilla monocristalina se determina, mediante fotoluminiscencia, la concentración de sustancias de dopaje;
- 25
- c) la segunda varilla es conducida a través de una o varias instalaciones en las que se continúan elaborando varillas de silicio policristalino para formar trozos de varilla o fragmentos de polisilicio, eventualmente se purifican, almacenan o empaquetan;
- 30
- d) después de ello, en la segunda varilla se determinan las impurezas con carbono y sustancias de dopaje, transformando la varilla mediante FZ, en una varilla monocristalina, separando de esta varilla monocristalina un primer disco y aportándolo a una medición por FTIR para la determinación de la concentración de carbono, separándose un segundo disco y aportándose a una medición de fotoluminiscencia para la determinación de la concentración en sustancias de dopaje;
- 35
- resultando de la diferencia de las impurezas determinadas con carbono y sustancias de dopaje en la primera y segunda varillas una impureza en superficie de silicio policristalino con carbono y sustancias de dopaje como consecuencia de las instalaciones y el entorno de las instalaciones.
- 40
- Primeramente, se proporcionan dos varillas de silicio policristalino, en donde en un reactor Siemens se separa silicio policristalino, formándose cuerpos de silicio policristalino en forma de U que comprenden en cada caso dos varillas de silicio policristalino.
- Como gas de reacción se utilizan en la separación típicamente un componente con contenido en silicio, preferiblemente triclorosilano, e hidrógeno.
- 45
- Preferiblemente, la separación tiene lugar en un pequeño reactor de ensayo.
- En la práctica, un cuerpo en forma de U previamente mencionado puede sacarse del reactor después de la separación, separándose a continuación el puente y los respectivos extremos de las varillas, de modo que se obtienen dos varillas de silicio policristalino con una y la misma carga.
- Las dos varillas de silicio policristalino proporcionadas en la etapa a) estaban unidas entre sí preferiblemente durante la separación a través de un puente (forma en U) (varillas hermanas).
- 50

ES 2 561 004 T3

En el caso de utilizar un pequeño reactor, las dos varillas de silicio policristalino pueden presentar típicamente una longitud de aproximadamente 20 cm y un diámetro de aproximadamente 1,6 cm.

- 5 Una de las dos varillas se empaqueta de preferencia inmediatamente después del desprendimiento y de la separación del puente y el extremo de la varilla en una bolsa de PE. Preferiblemente, se empaquetan las dos varillas en cada caso en una bolsa de PE.

Esta primera varilla se examina a continuación en relación con contaminaciones.

Se determinan impurezas con sustancias de dopaje, así como carbono.

Preferiblemente, en un laboratorio analítico, al cual es transportada la varilla empaquetada, la varilla se saca de la bolsa de PE, se separa un disco de la varilla policristalina y se ajusta para la medición por FTIR.

- 10 En este caso, se determina la concentración de carbono.

La varilla remanente se transforma, mediante FZ, en una varilla monocristalina.

En ésta se determina, mediante fotoluminiscencia, la concentración de sustancias de dopaje.

Los valores para las concentraciones de sustancias de dopaje y carbono, así determinados, sirven como valores de referencia para la segunda varilla.

- 15 La segunda varilla es conducida, después de la extracción de la bolsa de PE, preferiblemente a través de las instalaciones para la generación de un fragmento de silicio policristalino (desmenuzamiento, empaquetado) y, opcionalmente, a través de las instalaciones para la purificación del fragmento de silicio policristalino.

Con ello, la varilla absorbe las impurezas en relación con las sustancias de dopaje y el carbono al recorrer las instalaciones.

- 20 Después de recorrer las instalaciones de purificación o el tren para la generación de polifragmento no purificado, la varilla contaminada es empaquetada preferiblemente de nuevo en una bolsa de PE muy pura.

En la bolsa de PE se pegan preferiblemente dos etiquetas.

Etiqueta N° 1: etiqueta con el número de carga de la carga original (comparación con la primera varilla).

Etiqueta N° 2: etiqueta con un nuevo número de carga.

- 25 A partir de la varilla contaminada se genera mediante FZ una varilla monocristalina.

A continuación se determinan - tal como se ha descrito arriba para la primera varilla - sustancias de dopaje mediante fotoluminiscencia y carbono mediante FTIR.

A diferencia de la primera varilla, la determinación de la concentración de carbono tiene lugar mediante FTIR no en un disco policristalino, sino en un disco monocristalino.

- 30 En el caso del estirado FZ de la varilla contaminada, las partículas con contenido en carbono migran de la superficie a la masa y, con ello, se puede acceder a la medición del carbono mediante FTIR.

Los valores medidos en la primera varilla son restados de los valores de la segunda varilla conducida a través de las instalaciones.

- 35 Los valores de diferencia entre la primera y la segunda varilla proporcionan entonces el valor el cual se puede asignar a la superficie del silicio policristalino después del tratamiento, purificación y empaquetado.

El procedimiento de acuerdo con la invención ofrece, por consiguiente, la posibilidad de determinar indirectamente cómo el polisilicio es contaminado en superficie en las etapas de tratamiento tales como desmenuzamiento, purificación, empaquetado o en procesos de transporte.

Por consiguiente, el procedimiento proporciona contaminaciones en superficie para todos los posibles productos tales como varillas de polisilicio, varillas cortadas y fragmento de polisilicio de diferentes clases de tamaño (atacados químicamente o no atacados químicamente).

5 El procedimiento posibilita también vigilar y optimizar distintas etapas de producción en relación con contaminaciones en superficie.

10 Por ejemplo, la segunda varilla puede conducirse sólo a través de la instalación de purificación o sólo a través de la instalación de desmenuzamiento. Entonces, el procedimiento proporciona por separado la influencia de la instalación de desmenuzamiento y su entorno o de la instalación de purificación y su entorno sobre la contaminación en superficie. Esto mismo es válido para el empaquetado de polisilicio o el transporte del polisilicio de una instalación a otra instalación.

La determinación de la impureza en superficie es reproducible.

Para la verificación se condujeron doce varillas en doce cuencos del proceso al mismo instante a través de la instalación de purificación.

A continuación, se determinaron las concentraciones de sustancias de dopaje mediante fotoluminiscencia.

15 En teoría, las doce varillas hermanas - a pesar de que proceden de diferentes cargas - deberían presentar los mismos valores de análisis en relación con boro, fósforo, aluminio y arsénico, dado que son conducidas al mismo tiempo bajo las mismas condiciones a través de la instalación de purificación.

La **Tabla 1** muestra los valores determinados para boro, fósforo, aluminio y arsénico en ppta.

20 Los valores medidos en la primera varilla se restaron de los valores de la segunda varilla conducida a través de las instalaciones.

Tabla 1

	B	P	Al	As
Nº 1	20,95	23,37	0,98	4,95
Nº 2	12,74	<1	<0,5	<0,5
Nº 3	14,40	1,25	<0,5	2,04
Nº 4	16,04	5,49	<0,5	0,52
Nº 5	20,96	10,09	<0,5	<0,5
Nº 6	17,79	7,22	0,52	<0,5
Nº 7	12,28	<1	<0,5	<0,5
Nº 8	14,03	<1	<0,5	<0,5
Nº 9	22,15	13,85	<0,5	1,60
Nº 10	21,98	7,51	<0,5	2,03
Nº 11	12,49	1,52	<0,5	1,71
Nº 12	22,91	14,86	0,50	<0,5

Se pudieron estimar las siguientes capacidades de reproducción y límites de detección:

25 **Boro:**

Capacidad de reproducción: +/- 5 ppta

Límite de detección: 5 ppta

Fósforo

Capacidad de reproducción: +/- 5 ppta

Límite de detección: 5 ppta

Aluminio

5 Capacidad de reproducción: +/- 0,25 ppta

Límite de detección: 1 ppta

Arsénico

Capacidad de reproducción: +/- 0,5 ppta

Límite de detección: 5 ppta

10 Con el procedimiento de acuerdo con la invención puede determinarse también el contenido en partículas de carbono en la superficie de silicio con una capacidad de reproducción de +/- 10 ppba a un límite de detección de 10 ppba.

Ejemplo

15 En el ejemplo se muestra cómo la segunda varilla es conducida a través de la instalación de purificación y es examinada a continuación en relación con la concentración de sustancias de dopaje. La primera varilla (varilla hermana de la segunda varilla de un cuerpo en forma de U después de la separación) se analizó - tal como se describe arriba - mediante fotoluminiscencia en relación con sustancias de dopaje.

20 La bolsa de PE, en la que se empaquetó la segunda varilla (longitud 20 cm, diámetro 1,6 cm) se abre con unas tijeras, preferiblemente unas tijeras de material cerámico. La varilla se retira, utilizándose para la extracción manual un guante muy limpio. A continuación, la varilla se coloca en un cuenco del proceso.

Un guante muy limpio adecuado (guante de PE Tyvek[®]) se da a conocer en el documento US 2011-0083249, al cual se hace referencia por completo en este caso. En el caso de Tyvek[®] de la razón social DuPont se trata de un material textil funcional fibroso a modo de velo de papel a base de fibras térmicamente soldadas de polietileno con una elevada densidad (HDPE).

25 El cuenco del proceso cargado con la varilla es conducido a través de la instalación de purificación.

En este caso, la varilla de silicio es lavada en una purificación previa con una disolución de limpieza oxidante que contiene los compuestos, ácido fluorhídrico (HF), ácido clorhídrico (HCl) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂). En una purificación principal, la varilla se lava con una disolución de purificación que contiene ácido nítrico (HNO₃) y ácido fluorhídrico (HF). A continuación, la varilla se lava con una disolución de purificación oxidante y, con ello, se hidrofila.

30 En relación con el proceso de purificación se hace referencia en todo su alcance al documento EP 0 905 796 B1.

Después de la purificación de la varilla, ésta se seca y después del enfriamiento se coge con un guante muy limpio, preferiblemente un guante de PE Tyvek[®], y se empaqueta en una bolsa de PE muy limpia y se suelda.

En la bolsa de PE se pegan dos etiquetas:

35 Etiqueta N° 1: etiqueta con el número de carga de la carga original (posibilita la comparación de los valores de medición con la primera varilla).

Etiqueta N° 2: etiqueta con un nuevo número de carga.

La varilla contaminada se elabora mediante FZ para formar una varilla monocristalina. Tal como se describe arriba, las sustancias de dopaje se determinan mediante fotoluminiscencia. Asimismo, podría examinarse también el carbono mediante FTIR.

ES 2 561 004 T3

Los valores medidos para la primera varilla para las sustancias de dopaje boro, fósforo, aluminio y arsénico se restan de los valores correspondientes para la segunda varilla.

Los valores de diferencia entre la primera y la segunda varilla proporcionan entonces los valores que pueden asociarse a la superficie del polisilicio.

- 5 La **Tabla 2** muestra los valores de diferencia determinados para contaminaciones en superficie de boro, fósforo, aluminio y arsénico.

Tabla 2

B	P	Al	As
44,06	15,46	0,03	1,29
119,32	405,97	194,63	22,78
19,10	4,28	0,89	4,66
128,55	250,91	145,57	17,18
7,70	79,68	0,87	0,52
3,58	21,01	1,53	2,66
3,86	16,17	6,71	4,39
6,57	0,22	0,25	1,24
9,11	2,68	1,37	1,08
10,10	1,37	14,60	0,59
20,47	41,02	7,26	3,18

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación de una impureza en superficie de silicio policristalino, que comprende las etapas
 - a) proporcionar dos varillas de silicio policristalino mediante separación en un reactor Siemens;
 - 5 b) impurezas con carbono y sustancias de dopaje en la primera de las dos varillas se determinan inmediatamente después de la separación, en donde de esta varilla se separa un disco y se utiliza para la determinación de la concentración de carbono mediante FTIR, en donde una varilla que permanece después de la separación del disco de esta varilla se transforma, mediante FZ, en una varilla monocristalina, en donde en un disco separado de la varilla monocristalina se determina, mediante fotoluminiscencia, la concentración de sustancias de dopaje;
 - 10 c) la segunda varilla es conducida a través de una o varias instalaciones en las que se continúan elaborando varillas de silicio policristalino para formar trozos de varilla o fragmentos de polisilicio, eventualmente se purifican, almacenan o empaquetan;
 - d) después de ello, en la segunda varilla se determinan las impurezas con carbono y sustancias de dopaje, transformando la varilla mediante FZ, en una varilla monocristalina, separando de esta varilla monocristalina un primer disco y aportándolo a una medición por FTIR para la determinación de la concentración de carbono, separándose un segundo disco y aportándose a una medición de fotoluminiscencia para la determinación de la concentración en sustancias de dopaje;
 - 15 resultando de la diferencia de las impurezas determinadas con carbono y sustancias de dopaje en la primera y segunda varillas una impureza en superficie de silicio policristalino con carbono y sustancias de dopaje como consecuencia de las instalaciones y el entorno de las instalaciones.
 - 20
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que las sustancias de dopaje se eligen del grupo consistente en boro, fósforo, aluminio y arsénico.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o según la reivindicación 2, en el que la primera varilla se empaqueta en una bolsa de PE inmediatamente después de la separación.
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que en el caso de una o de las varias instalaciones en la etapa c) se trata de instalaciones para el desmenuzamiento, para la purificación, para el almacenamiento o para el empaquetamiento de polisilicio, y en el que la varilla, después de haber sido conducida a través de una o a través de las varias instalaciones, se empaqueta en una bolsa de PE.