



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 328 295**

51 Int. Cl.:  
**B07B 1/00** (2006.01)  
**B07B 13/00** (2006.01)  
**B07B 13/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07727441 .3**  
96 Fecha de presentación : **28.03.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2001607**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.12.2008**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de clasificación flexible de fragmentos de silicio policristalino.**

30 Prioridad: **06.04.2006 DE 10 2006 016 324**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**11.11.2009**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**11.11.2009**

73 Titular/es: **Wacker Chemie AG.**  
**Hanns-Seidel-Platz 4**  
**81737 München, DE**

72 Inventor/es: **Schäfer, Marcus y**  
**Pech, Reiner**

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 328 295 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).

# ES 2 328 295 T3

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento de clasificación flexible de fragmentos de silicio policristalino.

5 La invención concierne a un dispositivo y un procedimiento de clasificación flexible de fragmentos de silicio policristalino.

10 Se produce silicio de alta pureza por deposición química en fase gaseosa de un gas de clorosilano de alta pureza sobre un substrato calentado. El silicio se presenta aquí como policristalino en forma de varillas. Estas varillas se tienen que triturar para su ulterior empleo. Como herramientas fracturadoras se utilizan, por ejemplo, machacadoras de mandíbulas o de cilindros, martillos o cinceles, fabricados de metal. Los fragmentos de silicio policristalino así obtenidos, denominados polifractura en lo que sigue, se clasifican seguidamente según tamaños de fractura definidos.

15 Se conocen diferentes procedimientos de cribado mecánico, por ejemplo por los documentos EP 1391252 A1, US 6,874,713 B2, EP 1338682 A2 o EP 1553214 A2, para clasificar una polifractura. Asimismo, se conoce por el documento EP 1043249 B1 un transportador vibratorio con clasificación. Como consecuencia de su principio de funcionamiento mecánico, tales instalaciones de cribado hacen posible solamente una separación según la forma del grano, pero no una separación exacta según una respectiva longitud y/o superficie deseadas. No permiten un ajuste flexible de los límites de fracción sin trabajos de reforma mecánicos.

20 Mediante procedimientos de clasificación optoelectrónicos se puede conseguir una separación deliberada según la longitud y/o la superficie. Se conocen procedimientos de esta clase para polisilicio, por ejemplo por los documentos US 6,265,683 B1, EP-A-0876851 y US 6,040,544. Sin embargo, los procedimientos descritos en estos documentos están limitados siempre a la separación de corrientes de carga determinadas y previamente conocidas. De todos modos, una separación optoelectrónica de fragmentos de polisilicio es problemática cuando está presente en el material de carga una alta proporción fina (> 1% en peso, fragmentos < 20 mm), ya que se perturba así considerablemente el reconocimiento de la imagen de fragmentos de mayor tamaño. Por tanto, con los dispositivos conocidos no es posible separar de manera flexible fracciones de entrada muy diferentes en varias clases de grano con alta precisión según, por ejemplo, longitud y/o superficie. Además, no se describe ninguna regulación que conduzca a un resultado de clasificación aún más exacto.

30 El cometido de la invención ha consistido en proporcionar un dispositivo que haga posible una clasificación flexible de silicio policristalino (polisilicio) fracturado, preferiblemente según la longitud y/o la superficie de la polifractura. La longitud de un fragmento se define aquí como la línea recta más larga entre dos puntos sobre la superficie de un fragmento. La superficie de un fragmento se define aquí como la máxima superficie de sombra del fragmento proyectada en un plano.

35 La invención concierne a un dispositivo que se caracteriza porque comprende una instalación de cribado mecánico y una instalación de clasificación optoelectrónica, separándose la polifractura por medio de la instalación de cribado mecánico en una porción fina de silicio y una porción restante de silicio, y disociándose la porción restante de silicio en otras fracciones por medio de una instalación de clasificación optoelectrónica.

40 El dispositivo permite una clasificación de la polifractura según longitud, superficie, forma, morfología, color y peso en combinaciones de cualquier tipo.

45 Preferiblemente, la instalación de clasificación consta de una instalación de cribado mecánico de múltiples etapas y una instalación de clasificación optoelectrónica de múltiples etapas.

50 Preferiblemente, los dispositivos de separación mecánica y/u optoelectrónica están dispuestos en una estructura de árbol (véase la figura 1). La disposición de las instalaciones de cribado y de la instalación de clasificación optoelectrónica en una estructura en árbol permite una clasificación más exacta en comparación con una disposición en serie, ya que tienen que recorrerse menos etapas de separación y en cada módulo de separación es menor la cantidad que se debe rechazar. Además, la estructura en árbol presenta recorridos más cortos, con lo que son menores el desgaste de la instalación y la re trituración de fragmentos grandes y se produce una menor contaminación de la polifractura. Todo esto aumenta la rentabilidad del dispositivo y del procedimiento correspondiente.

55 Preferiblemente, la porción fina de la polifractura que se ha de clasificar se separa primero de la porción restante de silicio por medio de una instalación de cribado mecánico y a continuación se disocia en otras fracciones por medio de varias instalaciones de cribado mecánico.

60 Como instalación de cribado mecánico se puede utilizar cualquier máquina cribadora conocida. Preferiblemente, se utilizan máquinas cribadoras vibratorias que son accionadas por un motor desequilibrador. Como guarnición de cribado se prefieren cribas de mallas y cribas de agujeros. La instalación de cribado mecánico sirve para separar porciones finas en la corriente del producto. La porción fina contiene tamaños de grano de hasta un tamaño de grano máximo de hasta 25 mm y preferiblemente de hasta 10 mm. Por tanto, la instalación de cribado mecánico tiene preferiblemente un ancho de malla que separe los tamaños de grano citados. En consecuencia, dado que las cribas mecánicas solamente tienen agujeros pequeños al principio para separar tan sólo las clases de fractura pequeñas (# BG1), es más raro que se produzca una obstrucción de la criba, lo que incrementa la productividad de la instalación.

## ES 2 328 295 T3

Los problemáticos polifragmentos grandes no pueden asentarse firmemente en los pequeños anchos de malla de las cribas. Mediante una instalación de cribado mecánico de varias etapas se puede disociar aún la porción fina en otras fracciones.

5 Las instalaciones de cribado (etapas de cribado) pueden estar dispuestas una tras otra o bien en una estructura diferente, tal como, por ejemplo, una estructura en árbol. Preferiblemente, las cribas están dispuestas en más de una etapa y de manera especialmente preferida en tres etapas en una estructura en árbol. Así, por ejemplo, en caso de una división proyectada de la polifractura en cuatro fracciones de grano (por ejemplo, fracciones 1, 2, 3, 4), se separan en una primera etapa las fracciones 1 y 2 respecto de las fracciones 3 y 4. En una segunda etapa se separa después la  
10 fracción 1 respecto de la fracción 2 y en una tercera etapa dispuesta en paralelo se separa la fracción 3 respecto de la fracción 4.

La clasificación de la porción restante de polisilicio puede efectuarse según todos los criterios que sean estado de la técnica en la tecnología de imágenes y de sensores. Preferiblemente, se utiliza una clasificación optoelectrónica. Ésta se efectúa preferiblemente según uno o varios y de manera especialmente preferida según uno a tres de  
15 los criterios seleccionados del grupo de longitud, superficie, forma, morfología, color y peso de los fragmentos de polisilicio. Esta clasificación se efectúa de manera especialmente preferida según la longitud y la superficie de los fragmentos de polisilicio. Preferiblemente, la porción restante de silicio es disociada en otras fracciones por medio de una o varias instalaciones de clasificación optoelectrónica. Preferiblemente, se utilizan dos, tres o más instalaciones de clasificación optoelectrónica que están dispuestas en una estructura en árbol. El reconocimiento óptico de imágenes de la instalación de clasificación optoelectrónica tiene la ventaja de que se miden las longitudes o superficies "reales". Esto permite una separación de los fragmentos según los respectivos parámetros deseados que es más precisa en comparación con procedimientos de cribado mecánico convencionales. Como instalación de clasificación optoelectrónica se emplea preferiblemente un dispositivo como el que se ha descrito en el documento US 6,265,683 B1 o en el documento US 6,040,544 A. Por tanto, se hace referencia a estos documentos en cuanto concierne a los detalles de la  
20 instalación de clasificación optoelectrónica. Esta instalación de clasificación optoelectrónica comprende un dispositivo para individualizar la polifractura y una superficie de deslizamiento para la polifractura, siendo regulable el ángulo de la superficie de deslizamiento con la horizontal, así como una fuente de radiación a través de cuyo trayecto de radiación cae la polifractura, y un dispositivo de captación de forma que retransmite la forma del producto clasificado a una unidad de control que controla un dispositivo de deflexión.  
30

Preferiblemente, en cada etapa de clasificación optoelectrónica se individualiza la corriente del producto por medio de una canaleta de transporte vibratoria integrada y esta corriente pasa en caída libre, a través de un plano inclinado, por una o varias cámaras de líneas de color CCD que realizan una clasificación según uno o varios parámetros de  
35 clasificación seleccionados del grupo de longitud, superficie, volumen (peso), forma, morfología y color. Como alternativa, para el reconocimiento de los parámetros de los fragmentos pueden utilizarse todas las técnicas de sensores electrónicos conocidas por el estado de la técnica. Los valores de medida son transmitidos al equipo de control y regulación de rango superior y evaluados, por ejemplo, por medio de un microprocesador. Efectuando una comparación con el criterio de clasificación depositado en la receta se decide entonces si se excluye un fragmento de la corriente del producto o se le deja pasar. La exclusión se efectúa preferiblemente por medio de impulsos de aire comprimido enviados a través de boquillas, pudiendo ajustarse la presión por medio de la receta en el controlador de rango superior. A través de una regleta de válvulas dispuesta debajo de la unidad de reconocimiento de imágenes se activan aquí unos canales de separación (regletas de aire comprimido) y se solicitan éstos con impulsos dosificados de aire comprimido que dependen del tamaño del grano.  
45

Por tanto, el dispositivo según la invención está provisto preferiblemente de un controlador de rango superior que hace posible que los parámetros de clasificación según los cuales se clasifica la polifractura y/o los parámetros de la instalación que influyen sobre el transporte de la polifractura (por ejemplo, la velocidad de transporte) sean ajustados de forma flexible en las distintas partes de los dispositivos. Los parámetros de clasificación según los cuales  
50 se clasifica la polifractura son preferiblemente los parámetros antes citados, seleccionados de manera especialmente preferida entre el grupo de longitud, superficie, morfología, color o forma de los fragmentos.

El controlador de rango superior varía preferiblemente una o varias de las partes del dispositivo citadas en lo que sigue:

- 55
- la cantidad de paso de las canaletas de transporte (por ejemplo, por variación de la frecuencia de los motores desequilibradores)
  - la frecuencia de vibración de las cribas mecánicas
  - 60 - los parámetros de la clasificación (límites para superficie, longitud, color o morfología, preferiblemente longitud y/o superficie de los fragmentos)
  - la presión previa en las unidades de soplado.
- 65

Las magnitudes de los parámetros de clasificación según los cuales se clasifica la polifractura están almacenadas preferiblemente en forma de recetas en el controlado de rango superior, y una variación de los criterios de selección en el dispositivo de cribado mecánico y/o en la clasificación optoelectrónica se efectúa mediante la selección de una

## ES 2 328 295 T3

receta que dé lugar después a la elección de los parámetros de clasificación correspondientes en las distintas partes del dispositivo según la invención.

5 En una forma de realización preferida el dispositivo según la invención comprende, después de la instalación de clasificación, unas balanzas para determinar los rendimientos en peso de las fracciones clasificadas. Preferiblemente, el dispositivo comprende después de la instalación de clasificación un dispositivo completamente automático de llenado de cajas y de transporte de cajas.

10 Una forma de realización preferida del dispositivo se caracteriza porque la instalación de cribado mecánico y/o la instalación de clasificación optoelectrónica están provistas de un equipo de medida para parámetros definidos de la fractura de polisilicio clasificada y este equipo de medida está unido con un equipo de control y regulación de rango superior que evalúa estadísticamente los parámetros medidos y los compara con parámetros prefijados y que, en caso de una desviación entre los parámetros medidos y los parámetros prefijados, puede variar el ajuste de los parámetros de clasificación de la instalación de clasificación optoelectrónica o de toda la instalación de clasificación (por ejemplo, frecuencia de la instalación de cribado mecánico o velocidades de transporte de los polifragmentos) o la selección de las recetas de tal manera que el parámetro entonces medido se acomode al parámetro prefijado.

20 Preferiblemente, se mide un parámetro del grupo de longitud, superficie, forma, morfología, color y peso de los fragmentos de polisilicio. De manera especialmente preferida, se mide la longitud o la superficie de los fragmentos de polisilicio dentro de la respectiva fracción y se la evalúa en forma de distribuciones de longitud o de superficie (por ejemplo, cuantil de 5%, 50% ó 95%). Como alternativa, se determinan los rendimientos en peso de las distintas fracciones de cribado por medio de las balanzas presentes en las salidas de las cribas. Otro parámetro de medida es la cantidad de paso en masa y en partículas obtenida en las distintas instalaciones de clasificación optoelectrónica.

25 Para la estabilización de los rendimientos citados se pueden aprovechar los pesos de las distintas fracciones captados con una balanza o las distribuciones de longitud de las distintas fracciones de fractura medidas en la instalación de separación optoelectrónica. Cuando, por ejemplo, la producción cuantitativa de fragmentos grandes es demasiado grande o el valor medio de longitud (valor real) de la distribución de fractura obtenido en una etapa de separación óptica es mayor que el valor nominal, se pueden desplazar los límites de separación de conformidad con una lógica establecida en la receta, con lo que la distribución de la fractura se desplaza hacia su objetivo.

30 Recíprocamente, cuando la porción de fragmentos pequeños sea demasiado grande, se puede adaptar, por ejemplo, la velocidad de transporte con ayuda del número de partículas medido para no sobrecargar la instalación y/o se puede seleccionar otra receta de clasificación.

35 Los parámetros de clasificación (por ejemplo, valor medio de longitud de una fracción) de la fractura de polisilicio clasificada, determinados, por ejemplo, en la instalación de clasificación optoelectrónica en el marco de la vigilancia en línea según los criterios de clasificación (por ejemplo, distribución de longitud, distribución de peso), son transmitidos al equipo de control y regulación de rango superior y comparados allí con valores nominales prefijados. En caso de una desviación entre parámetros medidos y prefijados, se modifican los parámetros de clasificación variables (por ejemplo, los límites de separación entre dos fracciones o el modo de circulación a través de los módulos) por medio del equipo de control y regulación de tal manera que el parámetro medido se acomode al parámetro prefijado.

45 Preferiblemente, el equipo de regulación regula los límites de separación entre las fracciones, la cantidad de paso por las canaletas de transporte o la presión en las boquillas de soplado.

50 En una variante del dispositivo según la invención se han colocado entre las distintas etapas de clasificación unos separadores magnéticos (por ejemplo, imanes de placa, imanes de tambor o imanes de cinta) para retirar cuerpos metálicos extraños de la fractura de polisilicio y reducir la contaminación metálica de dicha fractura de polisilicio.

55 El dispositivo de control y regulación consiste preferiblemente en un sistema de mando en forma de un controlador programable en memoria (SPS) a través del cual se administran y regulan los controladores de todas las instalaciones parciales (por ejemplo, instalación de clasificación mecánica y optoelectrónica, manipulación automatizada de cajas con administración de recetas y administración de la lógica de regulación). La visualización y manejo abarcando las instalaciones parciales se efectúa desde un sistema de mando de rango superior. Se evalúan y visualizan los avisos de avería y de funcionamiento de todas las instalaciones parciales copiados juntos en un banco de datos de avisos de avería o de funcionamiento.

60 Gracias a la combinación de las instalaciones individuales para obtener el dispositivo conforme a la invención y a la vinculación lógica por medio de un controlador de rango superior se hace posible por primera vez que se realicen procesos de clasificación diferentes, es decir, procesos de clasificación según parámetros de clasificación diferentes, sin que sean necesarios trabajos de reforma mecánicos en el dispositivo.

65 En particular, el dispositivo según la invención permite una separación flexible en el caso de una distribución diferente de los tamaños de grano del producto de carga. Mediante una sencilla activación con software se pueden clasificar, sin trabajos de reforma mecánicos, tanto una fractura cúbica muy pequeña (longitud < 45 mm) como una fractura cúbica muy grande (longitud > 45 - 250 mm).

## ES 2 328 295 T3

En el marco de la presente invención se ha comprobado que la función de clasificación optoelectrónica en una fractura cualquiera de polisilicio se hace posible únicamente mediante una preconexión de un cribado mecánico para separar la porción fina con la precisión necesaria. Una alta proporción fina en el material de carga que se aporta a la instalación de clasificación optoelectrónica perjudica muy fuertemente la precisión de la clasificación y, en un caso extremo, pone en cuestión incluso la clasificación optoelectrónica.

El dispositivo según la invención hace posible una mayor precisión de separación respecto de longitud y/o superficie de los fragmentos en comparación con una instalación de cribado puramente mecánico. El dispositivo puede ser regulado por realimentación de los parámetros de clasificación (por ejemplo, valor medio de la fracción de grano (BG) medido en la instalación de cribado optoelectrónico) como magnitudes de guía para las instalaciones de clasificación (por ejemplo, límites de separación en las distintas etapas de clasificación optoelectrónica). El control y la regulación pueden adaptarse también por medio de las recetas sobre la base de los rendimientos en peso medidos.

El dispositivo según la invención hace posible una vigilancia en línea de la calidad del material de carga (por ejemplo, por medio de la evaluación estadística de la distribución de los tamaños de grano después de la fractura) según los criterios de clasificación (por ejemplo, distribución de longitud, distribución de peso).

La invención concierne también a un procedimiento en el que se clasifica una polifractura por medio de un dispositivo según la invención.

Preferiblemente, se separa para ello la polifractura en una fracción fina cribada y una fracción restante por medio de una instalación de cribado mecánico, separándose la fracción fina cribada en una fracción de destino 1 y en una fracción de destino 2 por medio de otra instalación de cribado mecánico y separándose la fracción restante en dos fracciones por medio de una clasificación optoelectrónica, subdividiéndose estas dos fracciones en otras cuatro fracciones de destino (fracciones de destino 3 a 6) por medio de sendas clasificaciones optoelectrónicas adicionales.

El procedimiento según la invención presenta una alta productividad, ya que los tiempos de preparación del equipo son más pequeños que en dispositivos de clasificación conocidos y es más raro que se produzca una obstrucción como en el caso de cribas mecánicas.

Preferiblemente, la fracción fina cribada presenta un tamaño de grano de menos de 20 mm, la fracción restante presenta un tamaño de grano de más de 5 mm, la fracción de destino 1 presenta un tamaño de grano de menos de 10 mm, la fracción de destino 2 presenta un tamaño de grano de 2 mm a 20 mm, la fracción de destino 3 presenta un tamaño de grano de 5 mm a 50 mm, la fracción de destino 4 presenta un tamaño de grano de 15 mm a 70 mm, la fracción de destino 5 presenta un tamaño de grano de 30 mm a 120 mm y la fracción de destino 6 presenta un tamaño de grano de más de 60 mm.

Preferiblemente, el ingreso de los parámetros de clasificación de las fracciones de destino deseadas se efectúa en un dispositivo de control y regulación de rango superior que produce un ajuste correspondiente de los parámetros de las instalaciones de clasificación para lograr las fracciones de destino deseadas de la polifractura. El ajuste de los parámetros de las instalaciones de clasificación se efectúa del mismo modo que se ha descrito para el dispositivo según la invención.

Preferiblemente, en la clasificación optoelectrónica se rechaza o se descarga por soplado cada vez la fracción con el mayor número de partículas con respecto al respectivo parámetro de clasificación. Preferiblemente, se selecciona una receta preajustada en el controlador de rango superior del dispositivo según la invención. En la receta están depositados todos los parámetros de la instalación de clasificación y las magnitudes de ajuste de la regulación. La medición de los parámetros del producto y la clasificación de la fractura de polisilicio se efectúan preferiblemente como se describe en lo que sigue:

El grano superior de la primera etapa de cribado mecánico se alimenta a una instalación de separación optoelectrónica de varias etapas. En cada etapa de clasificación optoelectrónica se individualiza la corriente del producto por medio de una canaleta de transporte vibratoria integrada y esta corriente pasa en caída libre sobre un plano inclinado por una (o varias) cámara(s) de líneas de color CCD que realiza(n) una clasificación según uno o varios de los parámetros de longitud, superficie, volumen, forma, morfología y color en cualquier combinación. Como alternativa, para el reconocimiento de los parámetros de los fragmentos se pueden utilizar todas las tecnologías de sensor electrónico conocidas en el estado de la técnica. Los valores de medida se transmiten al equipo de control y regulación de rango superior y se evalúan, por ejemplo, por medio de un microprocesador. Comparando con el criterio de clasificación depositado en la receta se decide entonces si se excluye un fragmento de la corriente de producto o se le deja pasar. La exclusión se efectúa preferiblemente por medio de impulsos de aire comprimido, pudiendo ajustarse la presión por medio de la receta en el controlador de rango superior. Se activan entonces unos canales de separación (regletas de aire comprimido), por ejemplo a través de una regleta de válvulas dispuesta debajo de la unidad de reconocimiento de imágenes y se solicitan dichos canales con impulsos dosificados de aire comprimido que dependen del tamaño de grano. La corriente de paso y la corriente de rechazo se evacúan seguidamente por separado y se alimentan a la siguiente etapa de clasificación optoelectrónica. Como alternativa, la exclusión puede efectuarse también por vía hidráulica o mecánica. Sorprendentemente, se ha comprobado que se logra una mayor precisión de clasificación si se descarga por soplado la respectiva fracción más pequeña en cuanto a su longitud, aun cuando esta fracción posea un mayor número de partículas. En efecto, es de esperar también por el estado de la técnica que la precisión de clasificación disminuya

## ES 2 328 295 T3

al aumentar la porción de rechazo, es decir que el soplado (retirada hidráulica/mecánica) aplicado a la fracción “más pequeña” en cuanto a su número de partículas deberá provocar una separación más exacta de los fragmentos. De todos modos, con el modo de circulación contraria se consigue sorprendentemente una separación más precisa de los fragmentos en cuanto a una separación por longitud o por superficie de dichos fragmentos.

5 El reconocimiento por medio de un sensor, preferiblemente por medio de un reconocimiento de imagen óptica, tiene la ventaja de que se miden las longitudes, superficies o formas “reales” de los fragmentos. Esto permite, por un lado, una separación más precisa en comparación con procedimientos de cribado mecánico convencionales, por ejemplo respecto de la longitud de los fragmentos. El solapamiento entre dos fracciones a separar es más pequeño. Por  
10 otro lado, los límites de separación pueden ajustarse a voluntad por medio de los parámetros prefijados (la receta) del controlador de rango superior, sin que deban realizarse variaciones en la propia máquina (como, por ejemplo, cambio de las guarniciones de las cribas). Mediante la combinación según la invención de instalación de cribado mecánico e instalación de clasificación optoelectrónica es posible por primera vez una separación tanto en el rango de pequeños tamaños de fracturas como en el rango de grandes tamaños de fractura, independientemente de la composición del  
15 material de carga.

Además, por medio de la “medición en línea” se puede regular la instalación total corrigiendo para ello inmediatamente, por ejemplo, los límites de separación de conformidad con el material de carga.

20 Asimismo, la clasificación optoelectrónica en el dispositivo según la invención ofrece la ventaja de que mediante la combinación de superficie y longitud es posible una separación más precisa de los fragmentos con arreglo a los respectivos requisitos (por ejemplo, alta cubricidad de los fragmentos).

Las fracciones de la fractura de silicio clasificadas por medio del dispositivo según la invención son recogidas y cargadas preferiblemente en cajas. El llenado se efectúa preferiblemente de manera automatizada, tal como se ha descrito, por ejemplo, en el documento EP 1 334 907 B.

La figura 1 muestra el principio del procedimiento del dispositivo según la invención empleado en los ejemplos.

30 La figura 2 muestra el resultado de la clasificación del ejemplo 1 en comparación con una separación optoneumática con el mismo dispositivo de separación optoneumático sin cribado previo (estado de la técnica).

La figura 3 muestra la influencia de los límites de clasificación (aquí longitud de un fragmento) ajustados en la instalación de separación optoelectrónica sobre la distribución de los tamaños de fractura de las fracciones así  
35 obtenidas, tal como se describe en el ejemplo 2.

Los ejemplos siguientes sirven para explicar adicionalmente la invención.

En los ejemplos se han producido los siguientes tamaños de fractura de la polifractura:

40 BG 0: Tamaños de fractura con una distribución de menos de 5 mm

BG 1: Tamaños de fractura con una distribución de aproximadamente 2 mm a 12 mm

45 BG 2: Tamaños de fractura con una distribución de aproximadamente 8 mm a 40 mm

BG 3: Tamaños de fractura con una distribución de aproximadamente 25 mm a 65 mm

50 BG 4: Tamaños de fractura con una distribución de aproximadamente 50 mm a 110 mm

BG 5: Tamaños de fractura con una distribución de aproximadamente 90 mm a 250 mm.

Los datos de longitud se refieren a la longitud máxima de los fragmentos, teniendo un 85% en peso de los fragmentos una longitud máxima dentro de los límites indicados.

55 Ejemplo 1

Se separó polisilicio por el procedimiento Siemens en forma de barras. Se descargaron las barras del reactor Siemens y se fracturaron hasta obtener una fractura gruesa de polisilicio según métodos conocidos por el estado de la técnica (por ejemplo, por trituración manual). Esta fractura gruesa con fragmentos de una longitud de arista de 0 a 250 mm fue vaciada a través de un dispositivo de carga, por ejemplo una tolva, sobre una canalera de transporte que transporta el material hasta el dispositivo según la invención. En el dispositivo de medida y control de rango superior se ingresaron los parámetros para las fracciones que se deben producir. Dado que mediante el respectivo empleo adicional de la fracción a producir se fija en cada caso una respectiva distribución deseada de los tamaños de grano en las  
65 diferentes fracciones, estas fracciones están depositadas en general como recetas en el dispositivo de medida y control de rango superior y se seleccionan de manera correspondiente. En el presente ejemplo se utilizó el dispositivo para la producción de seis fracciones diferentes (BG 0, 1, 2, 3, 4 y 5). En las recetas están depositados todos los respectivos parámetros de la instalación de clasificación optoelectrónica y mecánica y de la tecnología de transporte.

## ES 2 328 295 T3

Para la clasificación de una polifractura con porciones de tamaños grandes (BG 5) se depositaron los parámetros siguientes en la receta:

5 La porción fina (BG 0 y 1) de la polifractura se segregó en la criba mecánica con un ancho de malla de aproximadamente 10 mm y a continuación la porción segregada se separó en las fracciones BG 0 y 1 con otra instalación de cribado mecánico o con otra criba de aproximadamente 4 mm de ancho de malla.

10 La porción gruesa (BG 2, 3, 4 y 5) se alimentó a la instalación de clasificación óptica a través de una canalera de transporte, cuyas características de transporte, como, por ejemplo, la frecuencia, están depositadas también en la receta, y se separó de la manera siguiente a través de dos planos en árbol o de tres etapas ópticas: En la primera etapa se separó BG 3&2 de BG 4&5. Como límite de separación se depositó en la receta una longitud máxima de 55 mm. La BG 3&2 se separó en las BG 3 y 2 en una segunda etapa o en un límite de separación de 27 mm depositado en la receta. La BG 4&5 se separó en las BG 4 y 5 en una tercera etapa y con un límite de separación de 100 mm.

15 Se logró una mayor precisión de clasificación cuando se descargó por soplado la respectiva fracción más pequeña en cuanto a longitud, aunque esta fracción poseía un mayor número de partículas. En la separación respecto de un material de carga con una porción predominante en peso de BG 5 y BG 4 se descargó por soplado de la fracción total en el primer módulo la fracción "BG2 + BG3" más grande en cuanto a número de partículas y no se hizo esto con la fracción "BG4 + BG5". Análogamente, se descargó por soplado de la mezcla "BG2 + BG3" la porción "BG2" mayor  
20 en cuanto a número de partículas y no se hizo esto con "BG3".

Entre las diferentes partes de la instalación, como, por ejemplo, canaletas de transporte, están incorporados imanes para separar contaminaciones metálicas.

25 La figura 2 muestra el resultado de esta clasificación en comparación con una separación optoneumática con el mismo dispositivo de separación optoneumática sin cribado previo. Puede apreciarse que el material de carga pudo ser clasificado en las clases de longitud deseadas. Es visible la separación (ejemplo longitud) más precisa en comparación con procedimientos de cribado convencionales. Así, por ejemplo, en el solapamiento BG2/BG3 para la separación convencional puede apreciarse que la distribución BG2 termina tan sólo en aproximadamente 45 mm, mientras que  
30 la distribución BG3 se inicia ya en 20 mm. Por tanto, el solapamiento es de 25 mm. En el procedimiento según la invención la distribución BG2 termina ya en aproximadamente 40 mm, mientras que la distribución BG3 se inicia al mismo tiempo tan sólo en 25 mm. Por tanto, el solapamiento es de tan sólo 15 mm y, por tanto, un 40% más pequeño que en el estado de la técnica.

### 35 Ejemplo 2

Para la estabilización de los rendimientos deseados se variaron ligeramente los parámetros del software respecto de límites de separación de las fracciones individuales. En la receta para controlar la instalación de separación optoelectrónica se modificaron en unos pocos milímetros (véase la figura 3) los valores respecto de la longitud máxima o mínima permitida de los fragmentos en las distintas fracciones. Así, el límite de separación para la descarga por soplado se modificó de 27 mm a 31 mm entre las fracciones BG 2 y 3 y de 55 mm a 57 mm entre las BG 3 y 4. Esta variación de los parámetros del programa de solamente unos pocos milímetros puede apreciarse ya en las propiedades del producto (por ejemplo, distribución de longitud), es decir que los límites de separación entre las distintas fracciones puedan adaptarse en forma flexible y con alta precisión a la respectiva especificación mediante una sencilla elección  
45 de la receta, o bien se aprovechan estos límites en el marco de la regulación en línea para lograr valores nominales deseados.

### Ejemplo 3

50 *Clasificación de una distribución diferente de los tamaños de grano de la polifractura por medio de un dispositivo según la invención*

a) *Clasificación de una polifractura con una fracción principal > 100 mm en seis fracciones (por ejemplo, BG0 a BG5)*

55 En primer lugar, se segregó la porción fina (< 12 mm o BG0 + BG1) de la porción gruesa por medio de una criba mecánica. Esta fracción segregada se separó adicionalmente en las fracciones BG0 y BG1 por medio de una segunda criba mecánica subsiguiente. La porción gruesa ( $\geq$  BG2) se alimentó a la instalación de clasificación optoelectrónica y, en una primera etapa de separación (módulo 1 o primer plano en árbol), se separó en una fracción mayor ( $\geq$  BG 4) y en una fracción menor ( $\geq$  BG 3) (límite de separación BG3/BG4 entre ~50 y 70 mm). Estas dos fracciones se alimentaron a sendas etapas de separación adicionales (módulo 2 y módulo 3) en un segundo plano en árbol y se separaron nuevamente en dos respectivas fracciones. (Límite de separación BG2/BG3 aproximadamente 25 a 45 mm y BG4/BG5 aproximadamente 85 a 120 mm). Se obtuvieron así las fracciones BG2, BG3, BG4 y BG5. Pueden seguir  
60 otras etapas de separación (o módulos) en un tercer plano en árbol o en un plano en árbol superior cuando se desee una división en más fracciones o en fracciones más estrechas.

## ES 2 328 295 T3

b) *Clasificación de una polifractura con una fracción principal ~80 mm por división en 5 fracciones (BG0 a BG4)*

5  $\alpha$ ) El procedimiento correspondió al Ejemplo 3a), con la diferencia de que en el segundo plano en árbol estaba desactivado el módulo para la fracción mayor y, por tanto, no se segregó (descargó por soplado) adicionalmente la fracción  $\geq$  BG4.

10  $\beta$ ) Como alternativa, en el primer módulo se separó la mezcla BG2 a BG4 en una fracción  $\geq$  BG3 y una fracción BG2. No se separó adicionalmente después BG2 en un segundo plano en árbol, mientras que la fracción  $\geq$  BG3 se separó, en un segundo plano, en las fracciones BG3 y BG4.

c) *Clasificación de una polifractura con una fracción principal ~45 mm por división en cuatro fracciones (BG0 a BG3)*

15  $\alpha$ ) La segregación de la porción fina (BG0 + BG1) se efectuó análogamente al Ejemplo 3a). A continuación, el resto, es decir, la mezcla de BG2 + BG3, se separó ya en BG2 y BG3 en el primer módulo óptico y solamente se pasaron los módulos desactivados siguientes en un segundo plano en árbol.

20  $\beta$ ) Como alternativa, se desactivó el primer plano (módulo) y se realizó la separación BG2 - BG3 únicamente en el segundo plano en árbol.

d) *Clasificación de una polifractura con una fracción principal ~25 mm por división en tres fracciones (BG0 a BG2)*

25 La separación de la porción fina (BG0 + BG1) se efectuó análogamente al Ejemplo 3a). A continuación, se condujo el resto, es decir, por ejemplo BG2, a través de los módulos desactivados 1 y 2 o bien no se le descargó por soplado en ningún plano en árbol.

30 e) *Clasificación de una polifractura con una fracción principal < 25 mm por división en dos fracciones (BG0 y BG1)*

35 La separación de la porción fina (BG0 + BG1) se efectuó análogamente al Ejemplo 3a). No llegó ningún material a la instalación de clasificación óptica.

Las clasificaciones a) a e) son posibles con un mismo dispositivo según la invención, sin que sean necesarios trabajos de reforma en el dispositivo.

40

45

50

55

60

65

# ES 2 328 295 T3

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo que hace posible una clasificación flexible de silicio policristalino fracturado, comprendiendo dicho dispositivo una instalación de cribado mecánico y una instalación de clasificación optoelectrónica, siendo separada la polifractura por medio de la instalación de cribado mecánico en una porción fina de silicio y una porción restante de silicio y siendo separada la porción restante de silicio en otras fracciones por medio de una instalación de clasificación optoelectrónica.
- 10 2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende una instalación de cribado mecánico de varias etapas y una instalación de clasificación optoelectrónica de varias etapas.
3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque los dispositivos de separación mecánica y/u optoelectrónica están dispuestos en una estructura en árbol.
- 15 4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la instalación de cribado mecánica es una máquina cribadora vibratoria que es accionada por medio de un motor desequilibrador.
- 20 5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque las cribas de la instalación de cribado mecánico están dispuestas en más de una etapa.
6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque se utilizan dos instalaciones de clasificación optoelectrónica.
- 25 7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque se utilizan tres o más instalaciones de clasificación optoelectrónica.
8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque está provisto de un controlador de rango superior que hace posible que en las distintas partes del dispositivo se ajusten de manera flexible parámetros de clasificación, según los cuales se clasifica la polifractura, y/o parámetros de la instalación que influyen sobre el transporte de la polifractura.
- 30 9. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado** porque los parámetros según los cuales se clasifica la polifractura se han elegido del grupo de longitud, superficie, morfología, color o forma.
- 35 10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 8 ó 9, **caracterizado** porque varía por medio del controlador una o más de las partes del dispositivo que se citan en lo que sigue:
- 40 - la cantidad de paso de las canaletas de transporte
  - la frecuencia de vibración de las cribas mecánicas
  - los parámetros de la clasificación
  - 45 - la presión en las boquillas de descarga por soplado.
11. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 8, 9 ó 10, **caracterizado** porque la instalación de cribado mecánico y/o la instalación de clasificación optoelectrónica están provistas de un equipo de medida para parámetros definidos de la fractura de polisilicio clasificada, estando unido este equipo de medida con el controlador para formar un equipo de control y regulación que evalúa estadísticamente los parámetros medidos y los compara con parámetros prefijados y que, en caso de una desviación entre parámetros medidos y parámetros prefijados, pueden modificar el ajuste de los parámetros de clasificación de la instalación de clasificación optoelectrónica o de toda la instalación de clasificación de tal manera que el parámetro entonces medido se acomode al parámetro prefijado.
- 50 12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado** porque entre las distintas etapas de clasificación están dispuestos separadores magnéticos (por ejemplo, imanes de placa, imanes de tambor o imanes de cinta).
- 55 13. Procedimiento para la clasificación flexible de silicio policristalino fracturado (polifractura), **caracterizado** porque se utiliza un dispositivo según las reivindicaciones 1 a 12.
- 60 14. Procedimiento según la reivindicación 13, **caracterizado** porque se separa la polifractura en una fracción fina cribada y en una fracción restante por medio de una instalación de cribado mecánico, separándose la fracción fina cribada en una fracción 1 y en una fracción 2 por medio de otra instalación de cribado mecánico y separándose la fracción restante en dos fracciones por medio de una clasificación optoelectrónica, subdividiéndose estas dos fracciones en otras cuatro fracciones (fracciones 3 a 6) por medio de sendas clasificaciones optoelectrónicas adicionales.
- 65

## ES 2 328 295 T3

15. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado** porque la fracción fina cribada presenta un tamaño de grano de menos 20 mm y la fracción restante presenta un tamaño de grano de más de 5 mm, y la fracción 1 presenta un tamaño de grano de menos de 10 mm, la fracción 2 presenta un tamaño de grano de 2 mm a 20 mm, la fracción 3 presenta un tamaño de grano de 5 mm a 50 mm, la fracción 4 presenta un tamaño de grano de 15 mm a 70 mm, la fracción 5 presenta un tamaño de grano de 30 mm a 120 mm y la fracción 6 presenta un tamaño de grano de más de 60 mm.

16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, **caracterizado** porque en la clasificación optoelectrónica se descarga cada vez por soplado la fracción con el mayor número de partículas con relación al respectivo parámetro de clasificación.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

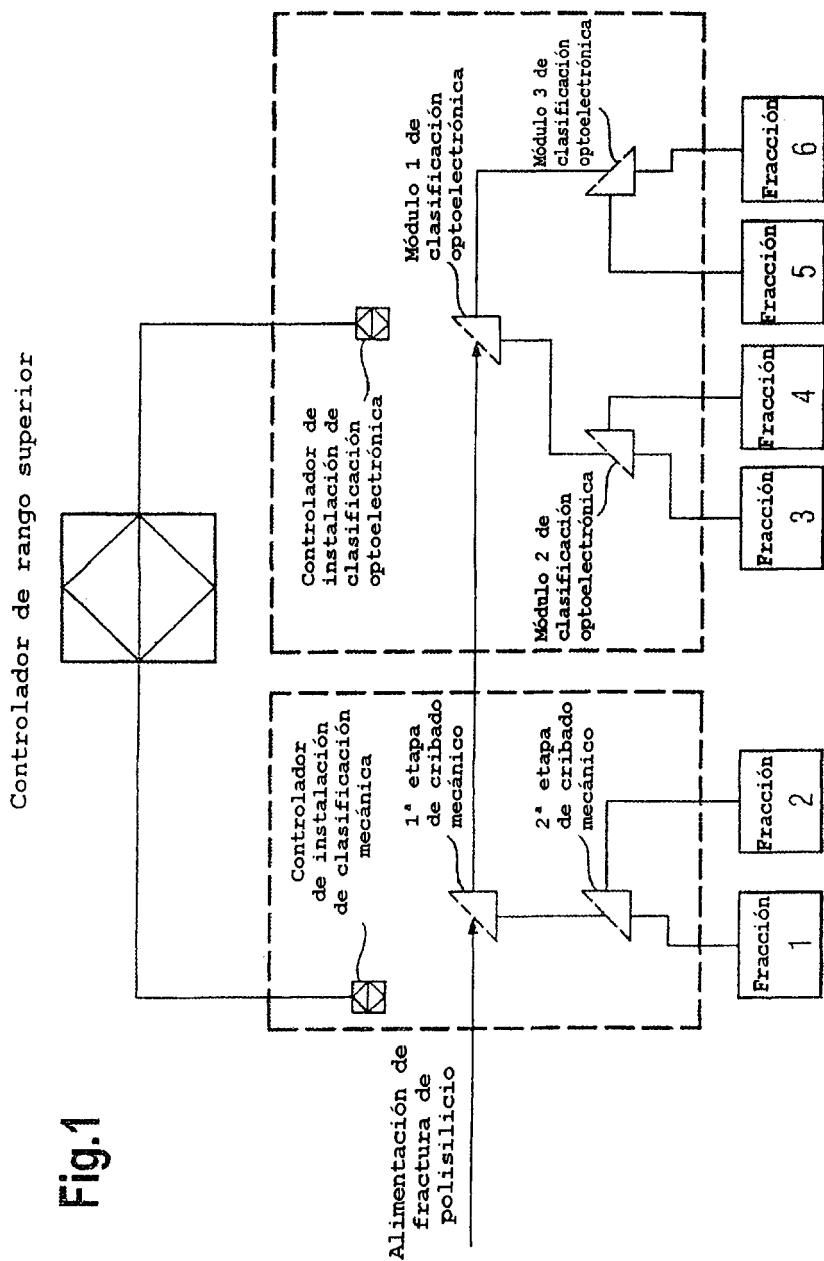
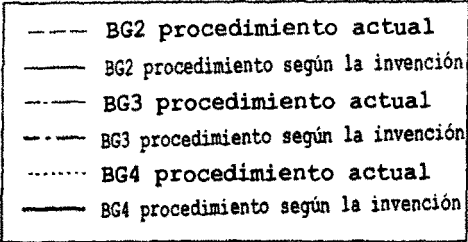
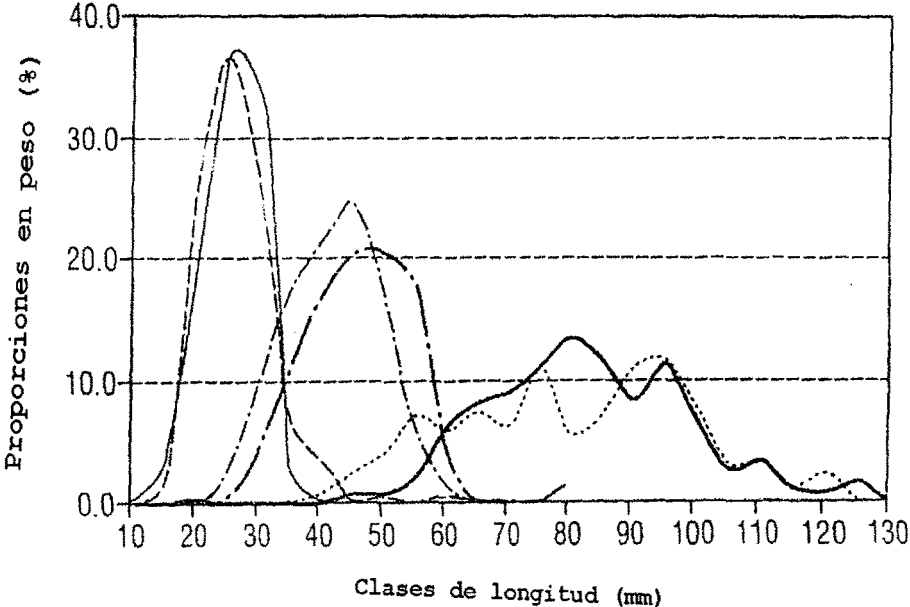


Fig.1

Fig. 2



**Fig. 3**

