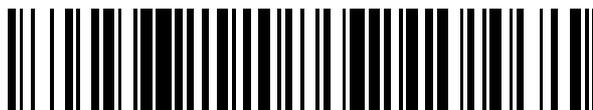


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 425 343**

51 Int. Cl.:

B23B 27/10 (2006.01)

B23D 59/02 (2006.01)

B23Q 11/10 (2006.01)

B24B 27/06 (2006.01)

C01B 33/035 (2006.01)

C30B 13/00 (2006.01)

C30B 15/04 (2006.01)

C30B 25/18 (2006.01)

C30B 29/06 (2006.01)

B28D 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2011 E 11192279 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2013 EP 2465625**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la producción de varillas finas de silicio**

30 Prioridad:

17.12.2010 DE 102010063407

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

14.10.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SCHANTZ, MATTHAEUS y
LICHTENEGGER, BRUNO**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 425 343 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 y dispositivo para la producción de varillas finas de silicio.

5 Objeto de la invención es un procedimiento así como un dispositivo para la producción de varillas finas de silicio.

Varillas finas de silicio se utilizan para la deposición de silicio policristalino.

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

15 Sin embargo, en particular el silicio policristalino se utiliza en una medida creciente para la producción de silicio mono- o multi-cristalino por medio de procesos de estirado o de colada, sirviendo este silicio mono- o multi-cristalino para el acabado de celdas solares para la industria fotovoltaica.

20 El silicio policristalino, denominado también a menudo polisilicio, se prepara habitualmente por medio del proceso Siemens. En este caso, en un reactor en forma de campana ("reactor Siemens") las varillas finas a base de silicio se calientan mediante el paso directo de corriente eléctrica y se introduce un gas de reacción que contiene un componente que contiene silicio, e hidrógeno.

25 En calidad de componentes con contenido en silicio entran en consideración, por ejemplo, compuestos halogenados de silicio tales como compuestos clorados de silicio, en particular clorosilanos. El componente con contenido en silicio se introduce en el reactor junto con hidrógeno. A temperaturas de más de 1000 °C se deposita silicio sobre las varillas finas. En tal caso, resulta finalmente una varilla con silicio policristalino. En el documento DE 1 105 396 se describen los principios básicos del proceso Siemens.

30 En relación con la producción de varillas finas, a partir del documento DE 1 177 119 se conoce depositar silicio sobre un cuerpo de soporte a base de silicio, a continuación de ello, separar una parte y utilizar esta parte separada de nuevo como cuerpo de soporte para la deposición de silicio. La separación puede tener lugar mecánicamente, p. ej. mediante serrado, o electrolíticamente mediante un chorro de líquido. La división mecánica tiene lugar en la dirección longitudinal. Los planos de corte pueden disponerse en ángulo entre sí a través del eje geométrico de la varilla de silicio. Se propone también, mediante cortes realizados en paralelo, atravesar la varilla de silicio paralelamente a su eje, cortar bandas o tiras que deben servir como soportes para nuevos procesos de deposición. Cortes paralelos de este tipo pueden realizarse simultáneamente en una única etapa de trabajo.

40 El documento US 2010/0077897 A1 da a conocer un dispositivo para la producción de varillas finas, en el que una varilla de silicio puede ser dividida primeramente a lo largo de su eje en una pluralidad de planchas o bien tablas, en donde estas planchas o bien tablas son cortadas de nuevo a continuación en dirección axial con el fin de reducir su grosor. El dispositivo prevé también una pluralidad de hojas de sierra dispuestas horizontalmente que hacen posible dividir en una etapa de trabajo una pluralidad de esas planchas o bien tablas. Esencialmente, se trata de evitar durante el serrado de las planchas curvaturas y deterioros, afianzando las mismas durante el aserrado sobre una mesa y sustentándolas en el lado frontal.

45 También se conoce crear varillas finas por medios de diferentes procesos de aserrado o corte a partir de varillas de silicio producidas previamente por medio del proceso Siemens.

50 Las condiciones del proceso para la deposición de polisilicio en el proceso Siemens se ajustan habitualmente, por motivos de rentabilidad, de manera que resulte una tasa de deposición lo más elevada posible.

55 En este caso, se producen entonces varillas de polisilicio con un gran diámetro, p. ej. mayor que 100 mm. Este tipo de varillas presentan, sin embargo, elevadas tensiones térmicas que podrían causar problemas durante el tratamiento mecánico ulterior.

60 En el caso de una realización inadecuada del proceso en los procedimientos de aserrado y corte habituales, las varillas se pueden romper. Las varillas finas creadas pueden estirarse y luego son inadecuadas para el posterior empleo en el proceso Siemens.

Los procedimientos conocidos por el estado de la técnica para la creación de varillas finas a partir de varillas de polisilicio con un gran diámetro, las cuales presentan considerables tensiones térmicas, conducen a que se produzca

una rotura ya sea de la pieza de trabajo cortada o de la varilla de polisilicio a cortar. En casos menos drásticos se forman a menudo desconchados que asimismo son indeseados y, por lo tanto, deben evitarse.

5 En el documento WO 2010/039570 A2 se describe que las tensiones que resultan en la producción de varillas a partir de polisilicio en el proceso Siemens pueden eliminarse de nuevo mediante tratamiento térmico (recocido). Las tensiones que resultan durante la deposición se eliminan de este modo con éxito, de manera que la varilla puede continuar siendo tratada sin más para la producción de varillas finas con los procedimientos de aserrado y de corte conocidos del estado de la técnica.

10 Un inconveniente de este procedimiento estriba, sin embargo, en que debe asumirse un considerable esfuerzo tanto desde un punto de vista energético como también mediante dispositivos adicionales con el fin de preparar las varillas para el corte de varillas finas.

15 Adicionalmente, durante el recocido de las varillas existe el riesgo de que impurezas superficiales se difundan en el interior del grueso del material y, de esta forma, impurifiquen al producto final. Con el fin de evitar esto, sería necesaria una etapa de purificación adicional (tal como una etapa de ataque químico) directamente antes de la etapa de recocido, lo cual, sin embargo, significaría un esfuerzo adicional considerable.

20 En el documento DE 100 19 601 B4 se describe un procedimiento en el que varillas de polisilicio que presentan una tensión térmica son cortadas transversalmente al eje longitudinal de manera que no se formen desconchados ni grietas. En tal caso, las varillas son giradas durante el corte en torno a su propio eje longitudinal, mientras que un útil de corte tronza la varilla desde el exterior. En tal caso no se generan, sin embargo, varillas finas, sino varillas previas para FZ o varillas de carga posterior para el CZ.

25 Por lo tanto, la misión de la invención consistía en evitar los inconvenientes arriba descritos en la producción de varillas finas como consecuencia de tensiones térmicas en las varillas de silicio, sin tener que recurrir a complejos tratamientos térmicos.

30 El problema se resuelve mediante un procedimiento para la producción de varillas finas de silicio, que comprende las siguientes etapas: a) habilitación de una varilla de silicio; b) corte secuencial de tablas de un grosor determinado a partir de la varilla por medio de un dispositivo de aserrado, en donde la varilla es girada axialmente entre dos cortes consecutivos en cada caso en 90° o en 180° de manera que de cuatro cortes consecutivos tienen lugar por pares en cada caso dos de los cuatro cortes en caras radialmente enfrentadas de la varilla o en donde el corte de las tablas tiene lugar simultáneamente al mismo tiempo en caras radialmente enfrentadas de la varilla; c) aserrado de las tablas cortadas para formar varillas finas con una sección transversal rectangular.

35 El problema se resuelve también mediante un procedimiento para la producción de varillas finas de silicio, que comprende las etapas: a) habilitación de una varilla de silicio; b) creación de una pluralidad de cortes verticales a lo largo de toda la longitud de la varilla por medio de un primer dispositivo de aserrado, estando distanciados entre sí los distintos cortes, teniendo lugar la distancia de los cortes y la profundidad de los cortes conforme a la longitud deseada de los cantos de una varilla fina a crear con una sección transversal rectangular; c) creación de un corte horizontal en dirección longitudinal de la varilla por medio de un segundo dispositivo de aserrado, con el fin separar de la varilla varillas finas con una sección transversal rectangular; en donde las etapas b) y c) se realizan secuencialmente varias veces consecutivas, y la varilla es girada axialmente entre dos cortes sucesivos conforme a c) en cada caso en 90° o en 180°, de modo que de cuatro cortes consecutivos conforme a c), por pares en cada caso dos de los cuatro cortes tengan lugar en caras radialmente enfrentadas de la varilla.

40 Los dos procedimientos de acuerdo con la invención se adecúan, en particular, para varillas a base de un silicio mono-
45 poli-cristalino con un diámetro mayor que 100 mm.

50 En tal caso, las varillas pueden presentar una tensión térmica considerable y, a pesar de ello, pueden continuar siendo elaboradas por medio de los dos procedimientos para formar varillas finas. Preferiblemente, en el procedimiento de acuerdo con la invención se utilizan este tipo de varillas y se aportan al proceso de corte.

55 Los dos procedimientos se diferencian en que en el primer procedimiento de acuerdo con la invención se cortan de forma alternativa de la varilla tablas que posteriormente son aserradas para formar varillas finas, mientras que en el segundo procedimiento de acuerdo con la invención se incorporan en la varilla primeramente cavidades distanciadas entre sí, de manera que mediante los cortes horizontales, que corresponden al corte de una tabla en el primer procedimiento de acuerdo con la invención, se generan ya las varillas finas acabadas.

Descripción del primer procedimiento de acuerdo con la invención

Primeramente se ha de habilitar una varilla de silicio. Preferiblemente, se trata de una varilla de silicio policristalino tal como puede producirse, por ejemplo, mediante deposición en el proceso Siemens.

5 De esta varilla se separan secuencialmente tablas de un grosor determinado. El grosor de estas tablas corresponde preferiblemente a una longitud del canto de una varilla fina a crear con una sección transversal rectangular, preferiblemente cuadrada.

10 Esencial para la invención es girar axialmente la varilla entre dos cortes sucesivos, en cada caso en 90° o en 180°, de manera que de cuatro cortes consecutivos por pares, en cada caso dos de los cuatro cortes tengan lugar en caras radialmente enfrentadas de la varilla o que el corte de las tablas tenga lugar simultáneamente al mismo tiempo en caras radialmente enfrentadas de la varilla.

15 Con el fin de crear finalmente varillas finas, las tablas cortadas se sierran de manera correspondiente. El aserrado de una tabla en varillas finas tiene lugar preferiblemente de manera simultánea al mismo tiempo en una etapa.

20 Preferiblemente, primero se corta una tabla en una cara de la varilla. A continuación, la varilla se gira en 180° en relación con su eje longitudinal. Luego se corta otra tabla en la cara radialmente opuesta. Finalmente, la varilla es girada de nuevo en 180°, y la siguiente tabla es cortada de nuevo en la posición radial enfrentada.

Esto puede continuar haciéndose sin problemas hasta la última tabla, sin que puedan reconocerse efectos negativos de las tensiones térmicas. En este caso, la varilla puede permanecer tensada de modo centrado en la cara frontal.

25 Alternativamente, la varilla podría girarse también de acuerdo con la **Tabla 1**, sin obtener influencias condicionadas por la tensión. Se representan en cada caso los números de corte, así como el ángulo de giro en relación con el eje longitudinal.

Tabla 1

Corte	Ángulo
1	0 °
2	180 °
3	90 °
4	270 °
5	0 °

30 En este caso, después del primer corte, la varilla es girada primeramente en 180° y es cortada. Luego tiene lugar un giro en 90° en la dirección opuesta en relación con el eje longitudinal de la varilla y, a continuación, el corte 3. Finalmente, tiene lugar un giro de 180°, de modo que resulta un ángulo de 270° con respecto a la posición de partida.
 35 El corte 4 tiene lugar, por lo tanto, en la posición en la varilla enfrentada al corte 3. Esto se cumple también para los cortes 1 y 2.

40 Preferiblemente, se procede de esta manera hasta alcanzar el centro de la varilla o hasta alcanzar una sección transversal cuadrada. Después se alterna entre los ángulos de 0° y 180°.

45 Por consiguiente, se prefiere llevar a cabo en cada caso dos cortes consecutivos, p. ej. los cortes 1 y 2, los cortes 3 y 4, los cortes 5 y 6, etc., en posiciones enfrentadas sobre la superficie envolvente de la varilla.

Otra forma de realización preferida lo muestra la **Tabla 2**.

En este caso, los cortes 1 y 3, así como los cortes 2 y 4 tienen lugar en posiciones enfrentadas de la varilla.

Tabla 2

Corte	Ángulo
1	0 °
2	90 °
3	180 °
4	270 °

5	0 °
---	-----

Preferiblemente, se procede de esta manera hasta haber alcanzado el centro de la varilla o hasta haber alcanzado una sección transversal cuadrada. Luego se alterna entre los ángulos de 0° y 180°.

- 5 Otra forma de realización muy particularmente preferida consiste en separar la varilla exenta de tensiones por medio de dos cortes paralelos. En este caso, se corta al mismo tiempo otra tabla en la cara enfrentada. Esto se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3

Corte	Ángulo
1 y 2	0 ° y 180 °
3 y 4	90 ° y 270 °

En este caso, los dos cortes 1 y 2 tienen lugar paralelamente en caras enfrentadas. A continuación, la varilla es girada en 90°. Después de ello tienen lugar los cortes 3 y 4, asimismo en caras enfrentadas.

- 15 Preferiblemente, se procede de esta manera hasta haber alcanzado el centro de la varilla o hasta haber alcanzado una sección transversal cuadrada. Luego se alterna entre los ángulos de 0° y 180° hasta que ya no esté presente material alguno.

Otra forma de realización lo muestra la **Tabla 4**.

- 20 En este caso, los cortes paralelos tienen lugar siempre en las mismas posiciones.

Tabla 4

Corte	Ángulo
1 y 2	0 ° y 180 °

- 25 Preferiblemente, los cortes paralelos tienen lugar con los ángulos de 0° y 180° hasta que no esté ya presente material alguno.

Descripción del segundo procedimiento de acuerdo con la invención y del dispositivo de acuerdo con la invención

Primeramente se habilita una varilla de silicio. En este caso, se trata preferiblemente de silicio policristalino, preparado, por ejemplo, mediante deposición en el proceso Siemens.

- 35 En la primera etapa se realiza una pluralidad de cortes verticales a lo largo de toda la longitud de la varilla por medio de un primer dispositivo de aserrado.

En este caso, los distintos cortes están distanciados entre sí.

- 40 La distancia de los cortes se elige de manera que corresponda a la longitud deseada de los cantos (aproximadamente 5-10 mm) de la varilla fina a crear. Naturalmente, en este caso se ha de tener en cuenta la anchura de corte del útil de corte.

- 45 También las profundidades de corte de los cortes practicados en la primera etapa se eligen conforme a la longitud deseada de los cantos de una varilla fina a crear.

Las varillas finas a crear presentan una sección transversal rectangular, preferiblemente una sección transversal cuadrada.

- 50 Por consiguiente, en la primera etapa se sierran prácticamente las secciones transversales de las varillas finas a crear.

En la siguiente etapa tiene lugar entonces un corte horizontal en la dirección longitudinal de la varilla por medio de un segundo dispositivo de aserrado.

- 55 Con ello se separan de la varilla en última instancia las varillas finas con una sección transversal rectangular.

Esencial para la invención es girar axialmente la varilla entre dos cortes horizontales consecutivos en cada caso en 90° o en 180°, de modo que de cuatro cortes horizontales consecutivos, en cada caso tengan lugar por pares dos de los cuatro cortes en caras de la varilla radialmente enfrentadas.

5 Esencial para la invención para el dispositivo para llevar a cabo el procedimiento es que estén presentes medios que posibiliten una separación simultánea de una tabla cortada.

10 El problema de la invención se resuelve también mediante un dispositivo para crear varillas finas a partir de una varilla de silicio mediante aserrado, que contiene una primera unidad que comprende una pluralidad de útiles de corte, un tubo con ranuras así como un líquido refrigerante para el enfriamiento de los útiles de corte, introduciéndose los útiles de corte en las ranuras del tubo, una segunda unidad que comprende toberas para la incorporación de líquido refrigerante adicional en la ranura de corte de la pieza de trabajo a mecanizar, así como una tercera unidad que comprende una sierra de cinta o una sierra de alambre o útiles de corte que contienen uno o varios árboles.

15 El dispositivo comprende tres unidades, una primera unidad para el corte paralelo de una pluralidad de cavidades verticales que discurren en la dirección longitudinal de la varilla y cuya profundidad de corte es algo mayor que el grosor de la tabla cortada, una segunda unidad para la aportación de un líquido refrigerante adecuado en las cavidades cortadas, y una tercera unidad para efectuar un corte longitudinal horizontal de la varilla.

20 En el caso de la primera unidad se trata preferiblemente de un árbol con hojas de sierra.

Asimismo se prefiere el uso de un láser conducido por líquido como útil de corte.

25 En el caso de la tercera unidad se puede tratar de una sierra de árbol sencilla o de doble árbol que contiene hojas de sierra.

30 Con un dispositivo de este tipo, la realización del procedimiento puede tener lugar tanto en el caso de varillas en posición horizontal como también vertical.

En lo que sigue se considera el uso del dispositivo en el caso de varillas dispuestas horizontalmente. La invención se explica con ayudas de las **Figs. 1 a 6**.

Lista de los símbolos de referencia utilizados

35	1	varilla / pieza de trabajo
	2	alojamiento de la varilla
	3	árbol
	4	hoja de sierra
40	5	tubo refrigerante
	6	líquido refrigerante
	7	tubo con toberas
	8	tobera de alta presión
45	9	sierra de cinta / alambre

Breve descripción de las Figuras

La **Fig. 1** muestra la varilla y el alojamiento de la varilla, así como un árbol con hojas de sierra.

50 La **Fig. 2** muestra la varilla, así como la hoja de sierra y el tubo refrigerante.

La **Fig. 3** muestra la varilla y el alojamiento de la varilla, así como un tubo con toberas.

55 La **Fig. 4** muestra la varilla y la hoja de sierra y el tubo refrigerante, así como el tubo con tobera de alta presión.

La **Fig. 5** muestra la varilla y el alojamiento de la varilla así como una sierra de cinta o de alambre y un tubo con toberas.

60 La **Fig. 6** muestra la varilla y dos hojas de sierra y el tubo con toberas.

La **Fig. 1** muestra, en particular, el árbol con las hojas de sierra que se encuentran sobre el mismo.

La primera unidad comprende un árbol **31** con hojas de sierra **41** axialmente desplazadas, cuya anchura de corte oscila preferiblemente entre 0,1 y 5 mm (de manera particularmente preferida de 0,2 a 0,8 mm). En el caso de que pase a emplearse un láser conducido por líquido, la anchura de corte se encuentra en menos de 0,1 mm, por ejemplo en 40-80 µm.

5 La profundidad de corte deseada de este árbol **31** con hojas de sierra **41** asciende preferiblemente a algo más de la longitud de los cantos de la varilla fina acabada (longitud de cantos preferida de 5-10 mm).

La profundidad de la sierra debería ser algo mayor que el grosor de la tabla máximo deseado.

10 Los cortes se realizan en la dirección longitudinal axial de la varilla.

El proceso de corte puede tener lugar tanto en el mismo sentido como en sentidos opuestos. En virtud de las mejores propiedades de refrigeración y de tensión, se prefiere particularmente el recorrido en el mismo sentido.

15 La distancia de las hojas de sierra **41**, restada la anchura de corte, determina la anchura de las posteriores varillas finas.

20 Durante el aserrado, la varilla **11** de silicio es fijada, por ejemplo, en las dos superficies frontales (alojamiento **21** de la varilla).

La **Fig. 2** muestra la disposición que garantiza el abastecimiento de las hojas de sierra **42** con líquido refrigerante **62**.

25 Las hojas de sierra **42** utilizadas son abastecidas en cada caso durante el corte con un líquido refrigerante **62**, de modo que el líquido refrigerante **62** puede penetrar en la dirección de marcha de la hoja de sierra **42** en la rendija de la sierra con el fin de refrigerar la varilla **12** y, al mismo tiempo, procurar la retirada del lodo de aserrado resultante.

El abastecimiento con líquido refrigerante tiene lugar por medio de un tubo **52** que es solicitado con líquido refrigerante y que comprende ranuras (rendijas) en las que penetran las hojas de sierra **42**.

30 En este caso, se prefiere que la rendija refrigerante ranurada sea algo más ancha que la hoja de corte utilizada.

Por ejemplo, si la hoja de corte tiene un grosor de aproximadamente 8 mm, la rendija refrigerante debería presentar una anchura de aproximadamente 8,5 mm.

35 La **Fig. 3** muestra el abastecimiento con líquido refrigerante por medio de toberas de alta presión en la dirección axial.

La segunda unidad que se muestra en la **Fig. 3** procura que líquido refrigerante adicional sea incorporado en las rendijas de corte resultantes.

40 Misión de este dispositivo adicional para el abastecimiento de líquido refrigerante es, por una parte, la limpieza ulterior de las rendijas de corte del lodo de aserrado resultante y, por otra, la refrigeración de la varilla para el corte horizontal, el cual se realiza a través de la tercera unidad.

45 En el caso más sencillo, la segunda unidad está realizada como tubo **73** en el que en un lado están practicados agujeros a una distancia **d**, de modo que el agua puede ser transportada con presión hacia la rendija de corte a partir del tubo **73**.

La distancia **d** corresponde preferiblemente a la distancia de las hojas de sierra **43** de la primera unidad.

50 Con el fin de evitar la pérdida de presión en función del tubo **73**, el tubo **73** es abastecido preferiblemente en varios puntos con líquido refrigerante.

El flujo del líquido refrigerante en las rendijas discurre en este caso de preferencia verticalmente al eje de la varilla **13**. Entonces el efecto de arrastre es más bien escaso.

55 La **Fig. 4** muestra la tobera de alta presión **84** junto al tubo **74** que, en un ángulo de casi 90°, comprime líquido refrigerante en las rendijas de la sierra y procura así un arrastre optimizado.

60 Se ha comprobado que es particularmente ventajoso el uso de toberas de alta presión **84** en cada orificio del tubo **74**.

Estas toberas de alta presión **84** pueden estar dobladas hasta 90°, de manera que el flujo del líquido refrigerante

puede ser introducido paralelamente al eje longitudinal de la varilla **14**. El arrastre el lodo de aserrado está entonces optimizado de esta manera, sin que con ello se empeore el efecto refrigerante.

El tubo **74** es abastecido con líquido desde arriba por medio de varias tuberías de abastecimiento (no representadas).

La **Fig. 5** muestra el guiado de la sierra de cinta (o sierra de alambre) que ejecuta el corte horizontal a lo largo del material.

La tercera unidad procura un corte horizontal a lo largo de la dirección axial de la varilla **15**.

La anchura de corte está ajustada en tal caso preferiblemente de manera que sea algo más pequeña que la profundidad de corte de la primera unidad.

En tal caso, la tercera unidad está realizada, por ejemplo, como una sierra de cinta **95** convencional.

Dado que la anchura de corte de la sierra de cinta **95** está ajustada preferiblemente de manera que sea menor que la profundidad de corte de la primera unidad, durante el aserrado se forma un canal junto a la hoja de sierra **45**. A través de este canal puede fluir líquido refrigerante que fue inyectado a través de la segunda unidad. Este flujo procura un enfriamiento óptimo y evacúa por transporte ante todo el lodo de aserrado resultante.

Entre las hojas de sierra **45** en dirección al centro de la varilla **15** se forman canales a través de los cuales puede fluir el líquido refrigerante y, con ello, separa por transporte el lodo de aserrado resultante.

Una vez que la varilla **15** fue cortada longitudinalmente una vez con el dispositivo precedentemente descrito, las varillas finas se encuentran libres y ya sólo se mantienen una junto a otra mediante fuerzas de adhesión.

Pueden ser reunidas por medio de un aspirador de vacío y retiradas de la varilla **15** como un conjunto.

Sin embargo, fuerzas de adhesión actúan también entre las varillas finas y la pieza de trabajo restante. Sin embargo, éstas son reducidas drásticamente, ya que existe un intercambio de líquido a través de los canales. Por lo tanto, no es necesaria una cuña de separación a emplear en caso contrario.

Con el fin de impedir una oscilación de las varillas finas fijadas durante el proceso de aserrado sólo en una cara, debería procurarse que las distancias entre las unidades fuesen pequeñas y no permitieran una resonancia.

En lugar de sólo un árbol **31** pueden utilizarse en el caso de la primera unidad también varios árboles.

Para la primera unidad, alternativamente a la pluralidad de hojas de sierra **41** en un árbol **31** puede utilizarse también una pluralidad de láseres que en cada caso son conducidos mediante un líquido adecuado. Como líquido para el guiado del láser se prefiere agua. Particularmente preferido es el uso de agua purísima con la pureza habitual para la industria de los semiconductores.

Con ello, se posibilita una reducción adicional de la anchura de corte hasta 40 - 80 µm, por ejemplo hasta 60 µm, lo cual es ventajoso.

Alternativamente, se puede invertir también la secuencia de corte entre la primera y tercera unidades, dado que para el corte por láser conducido por líquido, una evacuación del líquido requerido para el láser mejora las propiedades de corte.

Además, la aportación del líquido refrigerante en la segunda unidad debería tener entonces lugar a través de la hoja de sierra, ya que falta el canal necesario por lo demás para ello.

El uso de líquido refrigerante requiere un líquido cuya tensión superficial sea muy baja con el fin de garantizar la humectación del material.

Una posibilidad de minimizar la tensión superficial consiste, de manera conocida, en la adición de detergentes adecuados.

La elección de sustancias adecuadas está, sin embargo, fuertemente limitada en el caso del tratamiento con silicio, ya que se adhieren a la pieza de trabajo y, eventualmente, provocan un ensuciamiento de la misma. En particular, se adecúan aditivos tensioactivos tales como agentes humectantes y tensioactivos tal como pasan a emplearse en la industria de los semiconductores, por ejemplo como adición a agentes de pulido.

Alternativamente, la varilla es llevada, junto con agua limpia, a una temperatura elevada, p. ej. de aproximadamente 80°C, dado que con una temperatura más elevada se puede reducir la tensión superficial. Sin embargo, en virtud de la complejidad incrementada, esto se prefiere en menor medida.

5 La tercera unidad está realizada preferiblemente con una sierra de cinta **95**.
Sin embargo, también se puede utilizar una sierra de alambre que es abastecida con un líquido de aserrado (Slurry) que contiene partículas abrasivas.

10 Asimismo, puede utilizarse una sierra de alambre en la que las partículas de acción abrasiva estén ligadas en el alambre de la sierra. Se prefiere particularmente el uso de alambre de diamante.

15 El empleo de una sierra de alambre es particularmente ventajoso cuando en la primera unidad pasa a emplearse un corte por láser conducido por líquido.

También es en principio imaginable una sierra de cuerda, pero menos preferida en virtud del menor rendimiento de la sierra.

20 Además, el corte de la tercera unidad puede tener lugar asimismo con una hoja de sierra **45** o con varias hojas de sierra en árboles enfrentados.

La **Fig. 6** muestra la disposición de dos hojas de sierra **461** y **462** que realizan el corte horizontal a lo largo de la varilla **16**.

25 Entre las hojas de sierra **461** o bien **462** en dirección al centro de la varilla **16** se forman canales a través de los cuales puede fluir el líquido refrigerante que procede del tubo **76** y, con ello, separa por transporte el lodo de aserrado resultante.

30

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Procedimiento para la producción de varillas finas de silicio, que comprende las siguientes etapas: a) habilitación de una varilla de silicio; b) corte secuencial de tablas de un grosor determinado a partir de la varilla por medio de un dispositivo de aserrado, en donde la varilla es girada axialmente entre dos cortes consecutivos en cada caso en 90° o en 180° de manera que de cuatro cortes consecutivos tienen lugar por pares en cada caso dos de los cuatro cortes en caras radialmente enfrentadas de la varilla o en donde el corte de las tablas tiene lugar simultáneamente al mismo tiempo en caras radialmente enfrentadas de la varilla; c) aserrado de las tablas cortadas para formar varillas finas con una sección transversal rectangular.
- 10 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que en el caso del dispositivo de aserrado se trata de una sierra de cinta o de una sierra de alambre o de útiles de corte que contienen uno o varios árboles.
- 15 3.- Procedimiento para la producción de varillas finas de silicio, que comprende las etapas: a) habilitación de una varilla de silicio; b) creación de una pluralidad de cortes verticales a lo largo de toda la longitud de la varilla por medio de un primer dispositivo de aserrado, estando distanciados entre sí los distintos cortes, teniendo lugar la distancia de los cortes y la profundidad de los cortes conforme a la longitud deseada de los cantos de una varilla fina a crear con una sección transversal rectangular; c) creación de un corte horizontal en la dirección longitudinal de la varilla por medio de un segundo dispositivo de aserrado, con el fin separar de la varilla varillas finas con una sección transversal rectangular; en donde las etapas b) y c) se realizan secuencialmente varias veces consecutivas, y la varilla es girada axialmente entre dos cortes sucesivos conforme a c) en cada caso en 90° o en 180°, de modo que de cuatro cortes consecutivos conforme a c), por pares en cada caso dos de los cuatro cortes tengan lugar en caras radialmente enfrentadas de la varilla.
- 20 4.- Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el primer dispositivo de aserrado comprende uno o varios árboles con hojas de sierra.
- 25 5.- Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el primer dispositivo de aserrado comprende varios láseres conducidos en líquido.
- 30 6.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 a 5, en el que el segundo dispositivo de aserrado comprende una sierra de cinta o una sierra de alambre o útiles de corte que contienen uno o varios árboles.
- 35 7.- Dispositivo para crear varillas finas a partir de una varilla de silicio mediante aserrado, que contiene una primera unidad que comprende una pluralidad de útiles de corte, un tubo con ranuras así como un líquido refrigerante para el enfriamiento de los útiles de corte, introduciéndose los útiles de corte en las ranuras del tubo, una segunda unidad que comprende toberas para la incorporación de líquido refrigerante adicional en la ranura de corte de la pieza de trabajo a mecanizar, así como una tercera unidad que comprende una sierra de cinta o una sierra de alambre o útiles de corte que contienen uno o varios árboles.
- 40 8.- Dispositivo según la reivindicación 7, en el que los útiles de corte de la primera unidad comprenden hojas de sierra que están incorporadas en uno o en varios árboles.

Fig. 1

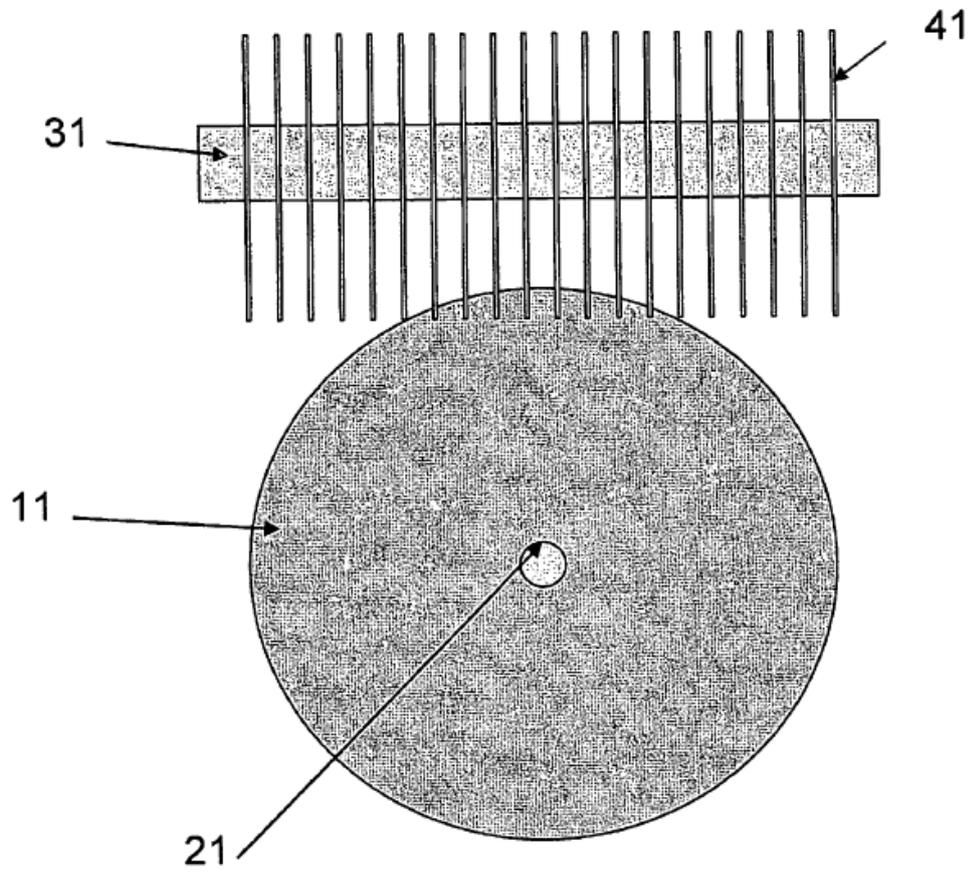


Fig. 2

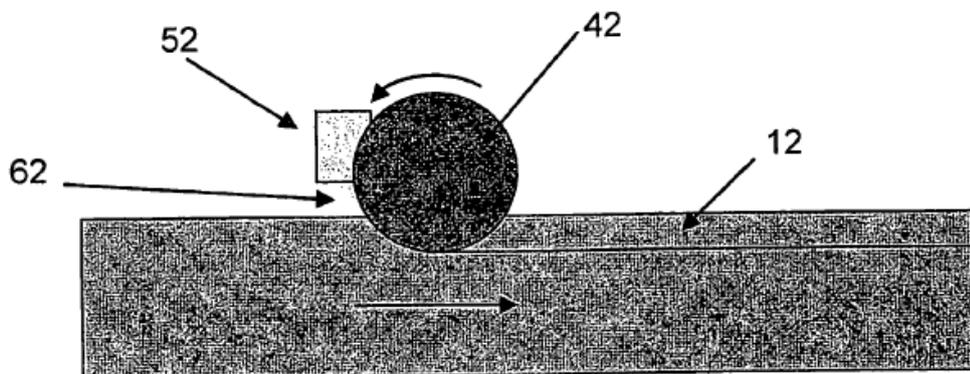


Fig. 3

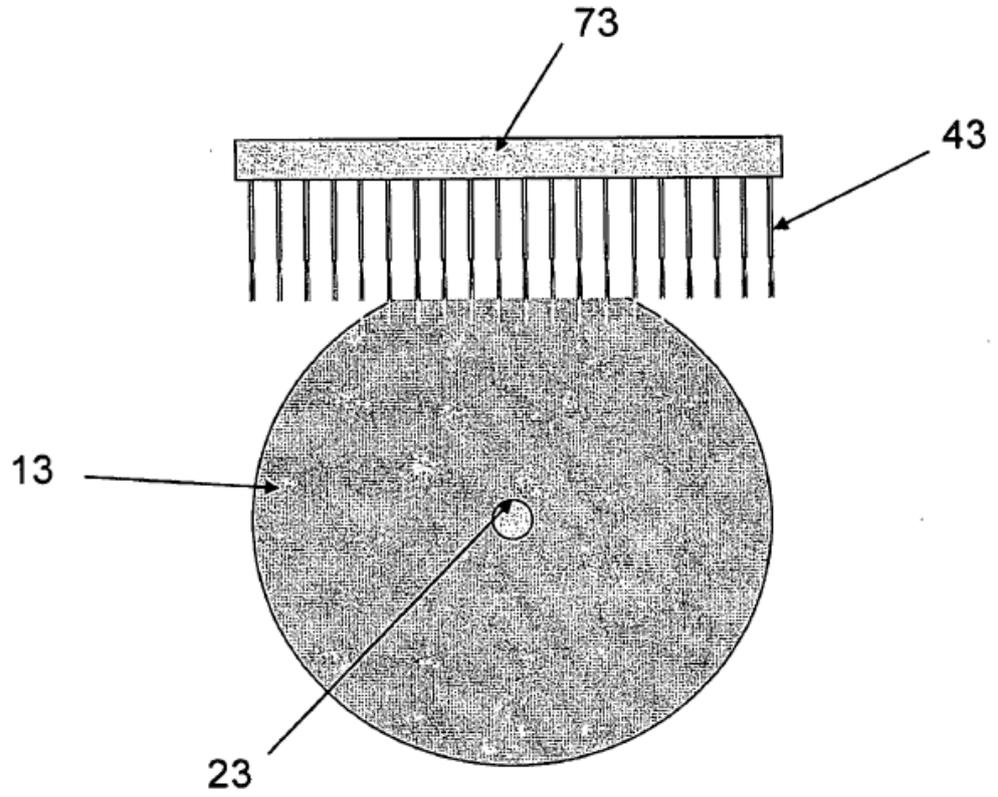


Fig. 4

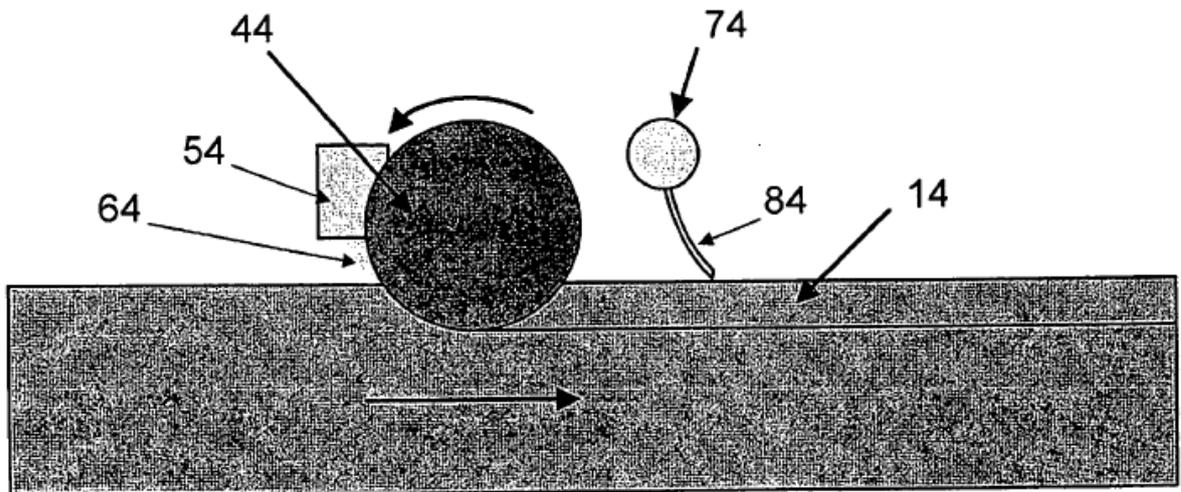


Fig. 5

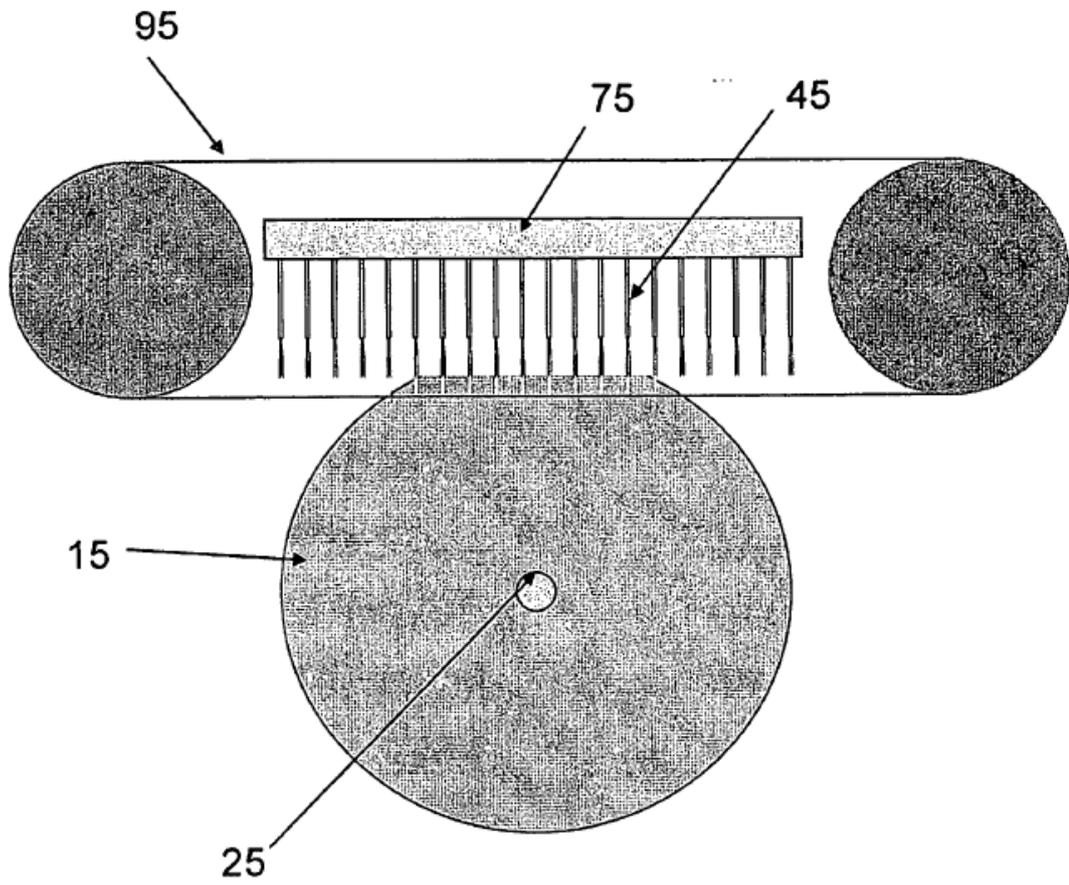


Fig. 6

