

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 613**

51 Int. Cl.:
C30B 15/02 (2006.01)
C30B 29/06 (2006.01)
B02C 19/18 (2006.01)
C30B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10171153 .9**
96 Fecha de presentación: **28.07.2010**
97 Número de publicación de la solicitud: **2280097**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.02.2011**

54 Título: **Método para generar grietas en varilla de silicio policristalino y aparato de generación de grietas**

30 Prioridad:
28.07.2009 JP 2009175441

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.09.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.09.2012

73 Titular/es:
Mitsubishi Materials Corporation
3-2, Otemachi 1-chome
Chiyoda-ku Tokyo 100-8117, JP

72 Inventor/es:
Hayashida, Syuuhei

74 Agente/Representante:
Veiga Serrano, Mikel

ES 2 387 613 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

Método para generar grietas en varilla de silicio policristalino y aparato de generación de grietas

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a un método de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino para triturar la varilla de silicio policristalino para formar trozos.

10 **Estado de la técnica**

15 El método de Czochralski (método CZ) se usa para producir silicio de cristales individuales para dispositivos semiconductores. En el método de CZ, se instalan trozos de silicio policristalino en un crisol y se funden en el crisol, y se extrae un silicio de cristales individuales de la masa fundida de silicio. El silicio policristalino puede producirse mediante el método de Siemens. Dado que en el método de Siemens se forma un cuerpo en forma de varilla de silicio policristalino, es necesario procesar la varilla para formar trozos de tamaño apropiado para instalar el silicio policristalino en el crisol de manera eficaz. La varilla de silicio policristalino es un material frágil y se tritura para formar fragmentos de tamaño apropiado usando un martillo o similar. En una técnica convencionalmente conocida, la varilla de silicio policristalino puede someterse a un tratamiento preliminar para generar grietas en la varilla antes de triturar la varilla. En el tratamiento preliminar, se enfría bruscamente una varilla de silicio policristalino calentada sumergiendo la varilla en agua pura, provocando así una fatiga térmica en la varilla de silicio. Como resultado, se generan grietas en la varilla de silicio policristalino.

25 Por ejemplo, la publicación internacional PCT, WO2009/019749, describe un aparato de calentamiento y enfriamiento brusco de un silicio. En este aparato, se coloca un silicio policristalino en forma de varilla sobre una unidad de soporte, y se calienta en una unidad de calentamiento. Tras retirarlo de la unidad de calentamiento, el silicio policristalino colocado sobre la unidad de soporte se somete a enfriamiento brusco en una unidad de enfriamiento brusco. La unidad de soporte está constituida por una pluralidad de tubos, y la varilla de silicio policristalino puede calentarse y enfriarse bruscamente en un estado que está soportado por los tubos. La unidad de enfriamiento brusco está configurada de tal manera que la unidad de soporte que soporta el silicio policristalino puede sumergirse en un baño de agua. La solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n.º 2005-288332 describe un aparato de trituración de una varilla de silicio policristalino. El aparato tiene un horno de calentamiento para calentar el silicio policristalino. Una base de soporte para soportar la varilla de silicio policristalino sobre la misma está equipada dentro del horno de calentamiento. En la configuración del aparato de trituración, la varilla de silicio policristalino se coloca sobre la base de soporte y se calienta en ese estado. Tras el calentamiento, se deja caer la varilla de silicio policristalino en un baño de agua, generando así grietas en la varilla. En el método descrito en la solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n.º 2004-91321, se generan grietas en un silicio policristalino pulverizando un fluido tal como agua a un silicio policristalino calentado, en el que el fluido se pulveriza con un patrón de pulverización en cono o un patrón de pulverización de chorro plano. En el método descrito en la solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n.º S60-33210, se tritura un silicio policristalino en forma de varilla usando el calentamiento por inducción de la varilla usando microondas. Cuando el silicio policristalino no se tritura usando microondas, se pulveriza agua pura desde el entorno del silicio policristalino a su periferia para potenciar la trituración.

45 Pueden generarse grietas en una parte de superficie e interior en la proximidad de la superficie de varilla de silicio policristalino calentando la varilla y sumergiendo la varilla en el baño de agua o pulverizando agua desde el entorno de la varilla. Sin embargo, dado que una varilla de silicio policristalino producida mediante el método de Siemens tiene un diámetro, por ejemplo, de 120 mm a 160 mm, es difícil generar agrietamiento en una parte central (núcleo) de la varilla de silicio policristalino, dando como resultado una parte de núcleo no agrietada o sin grietas, un denominado núcleo residual. Tras el procedimiento de choque térmico, la varilla de silicio policristalino se tritura para formar fragmentos mediante impacto usando un martillo o similar. Cuando se tritura el silicio policristalino que tiene el núcleo residual para formar trozos de, por ejemplo, 45 mm o menos de longitud máxima, se tarda mucho tiempo en triturar la parte de núcleo residual.

55 El documento EP 1 391 252 da a conocer un método de procesamiento de piezas de trabajo de silicio policristalino para extraer cristal de Czochralski, que comprende fracturar la pieza de trabajo para formar una mezcla de piezas de silicio policristalino de diversos tamaños usando un procedimiento de choque térmico.

60 El documento US 4.871.117 da a conocer un método con baja contaminación para desmenuzar fragmentos de silicio sólidos usando etapas de calentamiento y enfriamiento para producir fracturas por esfuerzo en un bloque de silicio antes del desmenuzado.

Objeto de la invención

65 Basándose en la consideración de la circunstancia anteriormente descrita, un objeto de la presente invención es proporcionar un método de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino y un aparato de generación de

grietas usado en el método mediante el cual se evita la aparición de núcleo residual y se generan grietas en la parte completa de la varilla de silicio policristalino, y la varilla de silicio policristalino puede triturarse para formar trozos de pequeño tamaño usando las grietas como orígenes de rotura. Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método de producción de trozos de silicio policristalino usando el método de generación de grietas.

5 En la reivindicación 1 se define un método de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino según la presente invención. Incluye calentar una varilla de silicio policristalino, y posteriormente realizar un enfriamiento de la varilla de silicio policristalino, generando así grietas en la varilla de silicio policristalino. El enfriamiento incluye enfriamiento de parte local en el que se aplica un fluido refrigerante sobre al menos una zona a modo de punto de una superficie de la varilla de silicio policristalino.

10 Se considera que la aparición de núcleo residual (parte de núcleo no agrietada o sin grietas) en el momento de enfriar la varilla de silicio policristalino está provocada por una tasa de enfriamiento relativamente lenta de la parte de núcleo (central) en comparación con la tasa de enfriamiento de la parte exterior. Es decir, se considera que la aparición del núcleo residual es un fenómeno provocado por las condiciones de enfriamiento convencionales en las que la periferia de la varilla de silicio policristalino se enfría de manera uniforme. Por otro lado, cuando se aplica un fluido refrigerante a un lado de la superficie de la varilla de silicio policristalino para enfriar una parte localizada, la varilla de silicio policristalino se enfría desde la parte localizada. Como resultado, la distribución térmica en una sección transversal de la varilla de silicio policristalino incluyendo una parte (parte de contacto) en contacto con el fluido refrigerante, es decir, la zona a modo de punto a la que se le aplica el fluido refrigerante, muestra un gradiente térmico que se extiende desde la parte parcial (la zona a modo de punto) de la superficie periférica. Como resultado, el efecto del enfriamiento es menor en una posición opuesta a la parte de contacto, es decir, en una posición sustancialmente asimétrica a la parte de contacto alrededor de un eje de la varilla. Por tanto, se produce un gradiente térmico a través de la parte de núcleo mediante el enfriamiento local de la parte parcial de la superficie de la varilla de silicio policristalino. Como resultado, las grietas generadas desde la periferia exterior se propagan a la parte de núcleo. La zona a modo de punto a la que se le aplica el fluido refrigerante puede fijarse en una posición apropiada dependiendo del tamaño de la varilla de silicio policristalino.

25 En el método anteriormente descrito de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino, el fluido refrigerante puede expulsarse desde boquillas dispuestas a ambos lados de la varilla de silicio policristalino, en el que una pluralidad de boquillas están dispuestas con espacios entre boquillas adyacentes a cada lado de la varilla de silicio policristalino a lo largo de una dirección longitudinal de la varilla de tal manera que una posición sustancialmente central de cada espacio entre boquillas adyacentes en un primer lado (un lado) está enfrentada a una boquilla en un segundo lado opuesto al primer lado. En el método anteriormente descrito, la pluralidad de boquillas están dispuestas en formación escalonada de tal manera que la posición de cada boquilla (excepto por una o dos boquillas en el extremo de la disposición) está enfrentada a una posición sustancialmente central en un espacio entre boquillas adyacentes en el lado opuesto. Es importante hacer que las grietas se propaguen en una dirección radialmente hacia dentro de la varilla de silicio policristalino para generar grietas que se propagan hacia la parte de núcleo (parte central) de la varilla de silicio policristalino. Mediante la disposición de las boquillas anteriormente descrita, es posible hacer que las grietas se propaguen radialmente hacia dentro desde ambos lados de la varilla de silicio policristalino, suprimiendo así la interferencia en la propagación de grietas entre zonas a modo de puntos aplicadas con el fluido refrigerante por las boquillas adyacentes.

30 En el método anteriormente descrito de generación de grietas en la varilla de silicio policristalino, las boquillas que expulsan el fluido refrigerante pueden tener un área en sección transversal de abertura (orificio) no inferior a $0,5 \text{ mm}^2$ y no superior a 20 mm^2 , y una distancia desde los extremos de las boquillas hasta la superficie de la varilla de silicio policristalino puede ser no inferior a 1 mm y no superior a 200 mm.

35 En el método anteriormente descrito de generación de grietas en la varilla de silicio policristalino, el fluido refrigerante puede aplicarse a la varilla de silicio policristalino con una velocidad de flujo de $0,0006$ a $0,006 \text{ m}^3/\text{minuto}$ sobre cada zona a modo de punto de la superficie de la varilla de silicio policristalino. El método anteriormente descrito de generación de grietas en la varilla de silicio policristalino puede incluir además un enfriamiento de parte completa en el que se hace que una sustancia refrigerante entre en contacto con una superficie completa de la varilla de silicio policristalino tras el enfriamiento de parte local. Mediante el enfriamiento de parte local de la varilla de silicio policristalino, se generan grietas en la parte de superficie y se propagan desde la superficie hacia la parte de núcleo de la varilla de silicio policristalino. Haciendo que la sustancia refrigerante entre en contacto con la parte completa de la varilla de silicio policristalino tras el enfriamiento de parte local, es posible, no sólo enfriar la superficie exterior de la varilla de silicio policristalino, sino también hacer que la sustancia refrigerante penetre a través de las grietas al interior de la parte de núcleo de la varilla, generando así nuevas grietas (secundarias) que se propagan desde las superficies de fractura de las grietas originales al tiempo que se propagan las grietas originales. Como resultado, es posible generar grietas que se propagan en la parte de núcleo, así como grietas que se propagan desde la superficie exterior de la varilla de silicio policristalino. Puede hacerse fácilmente que la sustancia refrigerante entre en contacto con la superficie completa de la varilla de silicio policristalino sumergiendo la varilla de silicio policristalino en el fluido refrigerante tal como agua llena en un baño. En este caso, ya que las grietas se generan preliminarmente en la varilla de silicio policristalino mediante el enfriamiento de parte local, el fluido refrigerante (por ejemplo, agua) penetra rápidamente a través de las grietas cuando se sumerge la varilla de silicio policristalino en un baño de enfriamiento (por ejemplo, baño de agua). La sustancia refrigerante no

se limita al agua. Por ejemplo, también puede usarse aire enfriado, anhídrido carbónico o similares como sustancia refrigerante.

5 Un método de producción de un(os) trozo(s) de silicio policristalino incluye la generación de grietas en una varilla de silicio policristalino según el método anteriormente descrito de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino, y triturar la varilla de silicio policristalino para formar trozos mediante impacto mecánico tras realizar el enfriamiento de parte completa de la varilla de silicio policristalino. Dado que se generan grietas en la parte interna del silicio policristalino mediante el enfriamiento de parte local y el enfriamiento de parte completa, la varilla de silicio policristalino se tritura fácilmente para formar trozos de silicio policristalino mediante el impacto mecánico. Por tanto, es posible obtener trozos de un tamaño deseado al tiempo que se evita la aparición de un núcleo residual. El impacto mecánico puede aplicarse a la varilla de silicio policristalino mediante golpes de martillo o usando una máquina, por ejemplo, una trituradora de mandíbula o similar.

15 En la reivindicación 6 se define un aparato según la presente invención. Es un aparato de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino calentando una varilla de silicio policristalino y posteriormente enfriando la varilla de silicio policristalino. Incluye una unidad de calentamiento que calienta la varilla de silicio policristalino, y una unidad de enfriamiento de parte local que puede aplicar un fluido refrigerante sobre al menos una zona a modo de punto de una superficie de la varilla de silicio policristalino. La unidad de enfriamiento de parte local del aparato anteriormente descrito puede incluir boquillas que están dispuestas a ambos lados de una posición de ajuste de la varilla de silicio policristalino, en la que una pluralidad de boquillas están dispuestas con espacios entre boquillas adyacentes a cada lado de la varilla de silicio policristalino a lo largo de una dirección longitudinal de la varilla de tal manera que una posición central de cada espacio entre boquillas adyacentes en un primer lado está enfrentada (es opuesta) a una boquilla en un segundo lado.

25 El aparato anteriormente descrito de generación de grietas en la varilla de silicio policristalino puede incluir además una unidad de enfriamiento de parte completa que hace que una sustancia refrigerante entre en contacto con una superficie completa de la varilla de silicio policristalino. Usando la unidad de enfriamiento de parte completa, se suministra la sustancia refrigerante a través de las grietas a la parte de núcleo de la varilla de silicio policristalino. Por tanto, es posible evitar una aparición de núcleo residual. Preferiblemente, la sustancia refrigerante puede ser un fluido refrigerante.

30 Según la presente invención, una parte parcial de una superficie de una varilla de silicio policristalino puede enfriarse localmente aplicando un fluido refrigerante sobre una o una pluralidad de zonas a modo de puntos de la superficie de la varilla de silicio policristalino. Por tanto, es posible generar una distribución térmica que muestra un gradiente térmico desde la superficie exterior hacia la parte de núcleo, y a través de la parte de núcleo de la varilla de silicio policristalino, generando así grietas. La propagación y/o generación de grietas en la varilla de silicio policristalino puede potenciarse adicionalmente sometiendo la varilla de silicio policristalino tras el enfriamiento de parte local al enfriamiento de parte completa. Como resultado, es posible generar grietas en la parte completa de la varilla de silicio policristalino al tiempo que se evita la aparición de un núcleo residual, y mejorando así la eficacia de trituración de la varilla de silicio policristalino.

Descripción de las figuras

45 La figura 1 es una vista en sección vertical que muestra esquemáticamente una realización de un aparato de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino según la presente invención. La figura muestra un estado en el que se expulsa agua desde boquillas y se aplica a una varilla de silicio policristalino colocada por encima de un baño de agua.

50 La figura 2 es una vista en perspectiva de una constitución esquemática de un aparato de generación de grietas según una realización.

La figura 3 es una vista en perspectiva que muestra un estado en el que una varilla de silicio policristalino está colocada sobre un soporte en el aparato de generación de grietas mostrado en la figura 2.

55 La figura 4 es un diagrama de flujo de un método de producción de un trozo de silicio policristalino según la presente invención.

60 Las figuras 5A a 5C son diagramas esquemáticos para explicar la aplicación de un fluido refrigerante a una varilla de silicio policristalino. Las figuras 5A y 5B muestran diagramas esquemáticos que muestran líneas isotérmicas de una distribución térmica en una sección de una varilla de silicio policristalino a la que se le aplica agua. La figura 5A muestra una sección transversal y la figura 5B muestra una sección longitudinal de una varilla. La figura 5C muestra una sección parcial de una varilla de silicio policristalino a la que se le aplica un fluido refrigerante.

65 La figura 6 es una fotografía que muestra un estado roto de una varilla de silicio policristalino que refleja la aparición de grietas en una varilla de silicio policristalino provocada por un enfriamiento de un único punto.

La figura 7 es una fotografía que muestra un estado roto de una varilla de silicio policristalino que refleja la aparición de grietas en una varilla de silicio policristalino provocada por un enfriamiento de dos zonas a modo de puntos usando boquillas dispuestas con un espacio entre las mismas de 100 mm.

5 La figura 8 es una fotografía que muestra un estado roto de una varilla de silicio policristalino que refleja la aparición de grietas en una varilla de silicio policristalino provocada por un enfriamiento de dos zonas a modo de puntos usando boquillas dispuestas con un espacio entre las mismas de 90 mm.

10 La figura 9 es una fotografía que muestra un estado roto de una varilla de silicio policristalino que refleja la aparición de grietas en una varilla de silicio policristalino provocada por un enfriamiento usando boquillas en las que cada dos boquillas están dispuestas a cada lado en formación opuesta.

15 La figura 10 es una fotografía que muestra un estado roto de una varilla de silicio policristalino que refleja la aparición de grietas en una varilla de silicio policristalino provocada por un enfriamiento usando boquillas en las que dos boquillas en un lado están dispuestas en formación escalonada con respecto a tres boquillas en el otro lado.

La figura 11 es un diagrama de modelo que muestra un resultado de análisis de simulación de distribución térmica en una varilla de silicio policristalino a la que se le aplica agua.

20 La figura 12 es una vista en sección vertical que muestra esquemáticamente una realización de un aparato de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino según la presente invención. La figura muestra un estado en el que se aplica agua a una pluralidad de varillas de silicio policristalino colocadas sobre un soporte.

25 Descripción detallada de la invención

A continuación, se explican algunas realizaciones de la presente invención con referencia a dibujos. En primer lugar, se explica una realización de un aparato de generación de grietas (aparato de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino). Tal como se muestra en la figura 2 y la figura 3, un aparato (1) de generación de grietas de esta realización incluye un soporte (2), una unidad (3) de calentamiento (recipiente de calentamiento), una pluralidad de boquillas (4), y un baño (5) de agua. El soporte (2) soporta una varilla (R) de silicio policristalino colocada sobre el mismo. La unidad (3) de calentamiento calienta la varilla (R) de silicio policristalino colocada sobre el soporte (2). La pluralidad de boquillas (4) constituye una unidad de enfriamiento de parte local para aplicar un fluido refrigerante sobre una o una pluralidad de zonas a modo de puntos de una superficie de la varilla (R) de silicio policristalino transportada (transferida) desde la unidad (3) de calentamiento mediante movimiento del soporte (2). El baño (5) de agua constituye una unidad de enfriamiento de parte completa en la que la varilla (R) de silicio policristalino en un estado colocad sobre el soporte (2) se sumerge en agua pura.

40 El soporte (2) está constituido por una pluralidad de elementos (11) de tubo que están dispuestos con espacios entre ellos y están integrados para constituir una base. Los elementos (11) de tubo están comunicados con elementos (12) de colector que están dispuestos en ambos extremos de los elementos (11) de tubo. Los elementos (12) de colector están suspendidos por elementos (13) de suspensión desde un transportador (no mostrado).

45 Cada uno de los elementos (11) de tubo se fabrica, por ejemplo, de acero inoxidable (SUS) y se forma más largo que una varilla (R) de silicio policristalino. El agua de enfriamiento suministrada a través de un tubo (15) de suministro/escape fluye en los elementos (11) de tubo. Los elementos (12) de colector que conectan los elementos (11) de tubo al tubo (15) de suministro/escape soportan ambos extremos de cada uno de los elementos (11) de tubo, agrupan los elementos (11) de tubo y están soportados por los elementos (13) de suspensión suspendidos desde el transportador. Al transportarse por el transportador, la base (2) de soporte puede trasladarse entre la unidad (3) de calentamiento y el baño (5) de agua.

50 La unidad (3) de calentamiento tiene dos elementos (21a, 21b) semicilíndricos que son más largos que los elementos (11) de tubo, conectados por una parte de bisagra que permite un movimiento de apertura y cierre, y soportados en una alineación lateral (por ejemplo, horizontal) por un armazón (no mostrado) del aparato. Se proporciona un número apropiado de calentadores (22) en las superficies internas de los elementos (21a, 21b) semicilíndricos. Cerrando los elementos (21a, 21b) semicilíndricos para constituir un cilindro y disponiendo el soporte (2) dentro del cilindro, es posible rodear el soporte (2) por los elementos (21a, 21b) semicilíndricos. En esta realización, un elemento (21a) semicilíndrico inferior está fijado a un armazón del aparato en un estado abierto hacia arriba. El elemento (21b) semicilíndrico superior se abre y se cierra mediante una unidad de accionamiento (no mostrada). Tal como se muestra en la tabla 3, cuando se abre el elemento (21b) semicilíndrico superior y el lado superior del elemento (21a) semicilíndrico inferior está en estado abierto, el soporte (2) puede transportarse por el transportador a modo de desplazamiento entre una posición por encima del elemento (21a) semicilíndrico inferior y una posición en el baño (5) de agua colocada a un nivel inferior enfrente del elemento (21a) semicilíndrico inferior.

65 El baño (5) de agua se llena con agua pura. El baño (5) de agua está configurado para tener una forma rectangular que tiene un tamaño suficiente para alojar tanto el soporte (2) como la varilla (R) de silicio policristalino colocada sobre el soporte (2), es decir, suficiente para sumergir tanto el soporte (2) como la varilla (R) de silicio policristalino

en el agua. Una dirección longitudinal del baño (5) de agua está dispuesta paralela a una dirección longitudinal del soporte (2).

5 Una pluralidad de boquillas (4) que constituyen la unidad de enfriamiento de parte local están dispuestas sobre extremos superiores de la superficie interior de ambas paredes (5a) laterales a lo largo de la dirección longitudinal del baño (5) de agua. Las boquillas (4) se dirigen desde las paredes (5a) laterales del baño (5) de agua hacia la dirección interna y están configuradas para aplicar agua a una varilla (R) de silicio policristalino desde la dirección lateral durante el transporte de la varilla (R) de silicio policristalino desde la unidad (3) de calentamiento hasta el baño (5) de agua. En este caso, las boquillas (4) están dispuestas con espacios entre boquillas adyacentes a lo largo de una dirección horizontal en cada una de las paredes (5a) laterales, y las boquillas (4) en una pared (5a) lateral (primera pared lateral) y las boquillas (4) en una pared (5a) lateral opuesta (segunda pared lateral) están dispuestas de manera escalonada. Una posición central de cada espacio entre boquillas adyacentes en una primera pared (5a) lateral es opuesta a una boquilla en una segunda pared (5a) lateral opuesta a la primera pared (5a) lateral. Es decir, las posiciones de las boquillas (4) en una pared (5a) lateral no son opuestas a las posiciones de boquillas (4) en la pared (5a) lateral opuesta. En la realización mostrada en la figura 2, tres boquillas (4) están dispuestas en una pared (5a) lateral del lado frontal del baño (5) de agua, y dos boquillas (4) están dispuestas en una pared (5a) lateral del lado trasero del baño (5) de agua. Una punta de cada boquilla (4) sobresale desde la pared (5a) lateral del baño (5) de agua hacia una dirección interna para expulsar agua para aplicar el agua a una varilla (R) de silicio policristalino desde una distancia relativamente próxima cuando se baja la varilla (R) de silicio policristalino sobre el soporte (2) desde una posición por encima del baño (5) de agua, y cada boquilla (4) está configurada de tal manera que se aplica agua a una zona a modo de punto de la superficie exterior de la varilla (R) de silicio policristalino sobre el soporte (2). Para permitir aplicar agua a la zona a modo de punto, cada boquilla (4) está configurada para expulsar agua de manera recta desde una abertura (orificio) abierta en la punta de la boquilla (4). Es posible usar boquillas comercialmente disponibles como las boquillas (4) anteriormente descritas. Por ejemplo, puede usarse una boquilla de pulverización de tipo recto (tipo K-18) fabricada por Katori Manufactory Ltd., una boquilla sólida (boquilla recta, de expulsión recta de tipo TRM o tipo H-U) fabricada por Spraying System Japan Co., Ltd. o similares. Preferiblemente, una abertura (orificio) de la boquilla (4) tiene un área no inferior a 0,5 y no superior a 20 mm². Preferiblemente, cada boquilla (4) está dispuesta de tal manera que una distancia desde un extremo de punta de la boquilla (4) hasta una superficie exterior de la varilla (R) de silicio policristalino no es inferior a 1 mm y no es superior a 200 mm. Preferiblemente, la velocidad de flujo de expulsión desde cada boquilla (4) no es inferior a 0,0006 m³/minuto y no es superior a 0,006 m³/minuto.

35 A continuación, se explican un método de generación de grietas en una varilla (R) de silicio policristalino usando el aparato (1) de generación de grietas así constituido, y un método de producción de trozos de silicio policristalino triturando la varilla (R) de silicio policristalino. Tal como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 4, un método de producción de trozos de silicio policristalino de esta realización incluye: calentar una varilla (R) de silicio policristalino, enfriar una parte local de la varilla (R) de silicio policristalino calentada, posteriormente enfriar una parte completa de la varilla (R) de silicio policristalino, y triturar la varilla (R) de silicio policristalino mediante impacto mecánico tras el enfriamiento de la parte completa de la varilla (R) de silicio policristalino. Por ejemplo, el impacto mecánico puede aplicarse mediante golpes de martillo o usando una máquina tal como una trituradora de mandíbula o similar. La varilla (R) de silicio policristalino se lava preliminarmente mediante agua pura o un ácido. Entonces, se abren los elementos (21a y 21b) semicilíndricos de la unidad (3) de calentamiento, se instala el soporte (2) en el elemento (21a) semicilíndrico inferior, y se coloca una varilla (R) de silicio policristalino sobre elementos (1) de tubo del soporte (2) tal como se muestra en la figura 3.

45 En un estado en el que la varilla (R) de silicio policristalino está colocada sobre los elementos (1) de tubo del soporte (2), se coloca el elemento (21b) semicilíndrico sobre la varilla (R) de silicio policristalino, cerrando así los dos elementos semicilíndrico (21a y 21b) para formar un cilindro. En el estado en el que la varilla (R) de silicio policristalino está rodeada por los elementos (21a y 21b) semicilíndricos, la varilla (R) de silicio policristalino se calienta por el calentador (22) para tener una temperatura de superficie, por ejemplo, de 500 a 700°C (etapa de calentamiento). Durante el calentamiento, fluye agua de enfriamiento en el elemento (11) de tubo.

55 Tras calentar la varilla (R) de silicio policristalino, se abren los elementos (21a, 21b) semicilíndricos de la unidad (3) de calentamiento. Accionando el transportador, se transfiere el soporte (2) desde la unidad (3) de calentamiento hasta el baño (5) de agua tal como se muestra en una flecha blanca en la figura 2. Durante esta fase, tal como se muestra mediante las flechas, se expulsa agua desde cada una de las boquillas (4) en el extremo superior del baño (5) de agua. Como resultado, en el estado intermedio de bajar el soporte (2) desde una posición por encima del baño (5) de agua para sumergir el soporte (2) en agua en el baño (5) de agua, se aplica agua sobre una superficie de la varilla (R) de silicio policristalino sobre el soporte (2) desde las boquillas (4) en ambas paredes (5a) laterales. Estas boquillas (4) expulsan agua para aplicar el agua a una zona a modo de punto de la superficie de la varilla (R) de silicio policristalino desde una distancia relativamente próxima. Además, dado que las boquillas (4) en cada pared (5a) lateral están dispuestas con espacios entre boquillas adyacentes a lo largo de una dirección horizontal, y las boquillas (4) en una pared (5) lateral opuesta están dispuestas en formación escalonada en la dirección horizontal de tal manera que las boquillas (4) en las dos paredes (5a) laterales no están en disposición axisimétrica, se aplica agua a una pluralidad de posiciones (zonas a modo de puntos) dispersadas sobre la superficie de la varilla (R) de silicio policristalino (etapa de enfriamiento de parte local etapa).

La figura 5C muestra un diagrama en sección esquemático que muestra una parte parcial de la varilla (R) de silicio policristalino a la que se le aplica agua. En el enfriamiento de parte local, se aplica agua expulsada desde cada boquilla (4) a una zona a modo de punto de una superficie de la varilla (R) de silicio policristalino, en la que cada una de las zonas a modo de punto tiene un diámetro d no inferior a $0,20 D$ y no superior a $0,32 D$, en el que D representa un diámetro de la varilla (R) de silicio policristalino. Preferiblemente, una diferencia de temperatura entre el centro de la zona a modo de punto y una posición alejada del centro en dos veces el diámetro de la zona a modo de punto no es inferior a 150°C debido al enfriamiento. Cuando el diámetro d de la zona a modo de punto es inferior a $0,20 D$ (representa un diámetro de la varilla (R) de silicio policristalino), la región enfriada es demasiado pequeña en comparación con el calor específico de la varilla (R) de silicio policristalino. Por otro lado, cuando el diámetro d de la zona a modo de punto supera $0,32 D$, es difícil obtener un efecto de enfriamiento local ya que una región grande se enfría completamente. En cualquiera de los casos, es difícil generar un gradiente térmico brusco desde la zona a modo de punto como punto de partida de enfriamiento, y no es probable que se produzcan grietas que tengan un tamaño suficiente para permitir una trituración fácil de la varilla (R) de silicio policristalino. Más preferiblemente, el diámetro de la zona a modo de punto no es inferior a $0,21 D$ y no es superior a $0,27 D$, en el que D representa el diámetro de la varilla (R) de silicio policristalino. Cuando una diferencia de temperatura entre el centro de la parte de punto y una posición alejada del centro en dos veces diámetro de la parte de punto es inferior a 150°C , es difícil generar grietas grandes debido a que un gradiente térmico pequeño da como resultado la generación de un esfuerzo térmico pequeño.

Cuando una pluralidad de puntos (zonas a modo de puntos) de la superficie exterior de la varilla (R) de silicio policristalino se enfrían localmente, la distribución térmica generada en la varilla (R) de silicio policristalino tal como se muestra en las figuras 5A y 5B muestra un gradiente térmico desde el punto en el que se pone la varilla (R) de silicio policristalino en contacto con el agua expulsada desde la boquilla (4), y el punto constituye un punto de partida de enfriamiento. Las figuras 5A y 5B muestran esquemáticamente líneas isotérmicas en una varilla (R) de silicio policristalino. En la distribución térmica provocada aplicando el agua, la temperatura de la varilla (R) de silicio policristalino aumenta radialmente alejándose desde la parte sobre la que se pulveriza el agua hacia la parte opuesta, y la temperatura aumenta en la dirección longitudinal al aumentar la distancia desde la parte sobre la que se pulveriza el agua. Dado que una pluralidad de boquillas (4) están dispuestas con espacios entre boquillas adyacentes a lo largo de la dirección longitudinal de la varilla (R) de silicio policristalino, el agua expulsada desde las boquillas (4) impacta sobre una pluralidad de puntos dispersados con espacios entre los mismos a lo largo de la dirección longitudinal de la varilla (R) de silicio policristalino, dando como resultado una distribución térmica en la que los puntos constituyen puntos de partida de enfriamiento. El esfuerzo térmico provocado por la distribución térmica anteriormente descrita genera grietas en respectivas partes de la varilla (R) de silicio policristalino. La mayoría de las grietas se generan mediante un agrietamiento que comienza desde el punto al que se le aplica agua (zona a modo de punto a la que se le aplica agua) en la superficie de la varilla (R) de silicio policristalino, que se propaga a través de la varilla (R) de silicio policristalino desde los puntos a los que se les aplica agua hacia partes opuestas. Por tanto, también se generan grietas en la parte central (parte de núcleo) de la varilla (R) de silicio policristalino. El estado anteriormente descrito se ilustra esquemáticamente en la figura 1 en la que se generan grietas (C) en la varilla (R) de silicio policristalino incluyendo la parte de núcleo como resultado de aplicar agua desde las boquillas (4). Preferiblemente, la separación entre boquillas (4) adyacentes puede controlarse dependiendo del diámetro (D) de la varilla (R) de silicio policristalino. Preferiblemente, la separación entre boquillas adyacentes no es inferior a $0,80 D$ y no es superior a $1,36 D$. La separación entre boquillas (4) adyacentes corresponde sustancialmente a una separación entre los centros de zonas a modo de puntos a las que se les aplica agua mediante las boquillas (4).

Por tanto, la varilla (R) de silicio policristalino se enfría localmente mediante el agua expulsada desde las boquillas (4) en una fase intermedia de bajada de la varilla (R) de silicio policristalino desde una posición por encima del baño (5) de agua. Después de eso, se enfría una parte completa de la varilla (R) de silicio policristalino sumergiendo la varilla (R) de silicio policristalino en el agua pura en un baño (5) de agua (enfriamiento completo etapa). Tal como se describió anteriormente, se genera preliminarmente una pluralidad de grietas (C) que se propagan a través de la varilla (R) de silicio policristalino mediante la expulsión de agua desde las boquillas (4) dispuestas en el extremo superior del baño (5) de agua. Cuando se sumerge en el agua la varilla (R) de silicio policristalino en ese estado, el agua enfría la superficie exterior de la varilla (R) de silicio policristalino y penetra en cada una de las grietas (C) dando como resultado una propagación adicional de grietas y generación de grietas secundarias desde la superficie de fractura de las grietas (C) originales. Como resultado, se generan grietas en la superficie exterior y en la parte interior completa de la varilla (R) de silicio policristalino tal como se muestra en líneas discontinuas de rayas y dos puntos en la figura 1. En ese estado, la varilla (R) de silicio policristalino se divide fácilmente en una pluralidad de bloques.

A continuación, se levanta la base (2) de soporte desde el baño (5) de agua y se seca la varilla (R) de silicio policristalino. Después de eso, se divide la varilla de silicio policristalino en bloques, y se tritura cada bloque para formar pequeños trozos mediante golpes de martillo (etapa de trituración). En ese momento, ya que se generan preliminarmente grietas en cada uno de los bloques, cada bloque puede triturarse fácilmente mediante impactos con martillo o similar, y pueden obtenerse trozos de tamaño deseado.

En el método anteriormente descrito, la expulsión de agua a nivel del extremo superior del baño de agua sólo puede realizarse mientras la varilla (R) de silicio policristalino pasa a través de ese nivel. Preferiblemente, la varilla (R) de silicio policristalino puede detenerse al nivel de la expulsión de agua, y puede aplicarse agua a la varilla (R) de silicio policristalino durante un periodo predeterminado, por ejemplo, de 10 segundos.

Ejemplos

Para confirmar el efecto del enfriamiento de parte local, se llevaron a cabo los siguientes experimentos.

Experimento 1

Se prepararon varillas de silicio policristalino que tenían un diámetro de 125 mm. Tras calentar cada varilla de silicio policristalino a aproximadamente 650°C, se aplicó agua a la varilla de silicio policristalino desde una única boquilla colocada en la posición exterior radialmente separada de la varilla de silicio policristalino. En cada caso, se aplicó agua a una temperatura de 25°C durante un periodo de 10 segundos. Se hizo variar el diámetro de la zona a modo de punto a la que se le aplicó agua sobre la superficie de la varilla de silicio policristalino cambiando el diámetro de abertura de la boquilla, la velocidad de flujo de expulsión de agua desde la boquilla, y la distancia desde un extremo de punta de la boquilla hasta una superficie de la varilla de silicio policristalino. Después de eso, se observó una aparición de grietas en cada varilla. Cuando se generaron las grietas a lo largo de toda la periferia de la varilla de silicio policristalino, se evaluó que la aparición de grietas era buena. Cuando la generación de grietas permaneció en una parte parcial de la varilla y no se observaron grietas a lo largo de toda la periferia de la varilla de silicio policristalino, se evaluó que la aparición de grietas era mala. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

N.º	Área de una abertura de boquilla (mm ²)	Diámetro (d) de punto (mm)	Velocidad de flujo (m ³ / minuto)	Distancia (mm)	Diámetro de punto / diámetro de varilla	Aparición de grietas
1	0,38	15	0,0003	200	0,12	Mala
2	0,50	25	0,0007	200	0,20	Buena
3	0,78	27	0,0008	150	0,21	Buena
4	7,06	31	0,0011	100	0,24	Buena
5	12,56	34	0,003	50	0,27	Buena
6	19,63	40	0,006	30	0,32	Buena
7	28,27	46	0,008	25	0,36	Mala

En el experimento de enfriamiento de un único punto, en cada una de las muestras en las que el diámetro de punto era de 25 mm a 40 mm, en otras palabras, en las que la razón de diámetro de punto con respecto al diámetro de la varilla de silicio policristalino era de 0,20 a 0,32, se generaron grietas a lo largo de toda la periferia de la varilla de silicio policristalino directamente tras la pulverización de agua. Cuando se golpearon ligeramente estas muestras con un martillo, las grietas se propagaron desde el punto de enfriamiento de la varilla de silicio policristalino, y la varilla se rompió tal como se muestra en la figura 6. En la figura 6, la posición indicada por la flecha es el punto de enfriamiento. Los resultados mostrados en la tabla 1 muestran que es preferible pulverizar agua a la varilla de silicio policristalino de tal manera que la razón del diámetro de la zona a modo de punto con respecto al diámetro de la varilla de silicio policristalino es de 0,20 a 0,32.

Experimento 2

A continuación, usando una pluralidad de boquillas, se pulverizó agua a múltiples puntos de cada varilla de silicio policristalino. En este caso, se dispusieron las boquillas con espacios a un lado a lo largo de una dirección longitudinal de la varilla de silicio policristalino (esta disposición se denomina disposición en un lado). El diámetro de abertura de cada boquilla era de 1 mm, ϕ , velocidad de flujo de agua expulsada desde cada boquilla era de 0,008 m³/minuto, y la razón de diámetro de punto/diámetro de varilla era de 0,21. Se hizo variar el número de boquillas y la separación entre boquillas adyacentes tal como se muestra en la tabla 2. Las varillas de silicio policristalino usadas en este experimento tenían un diámetro de 125 mm y una longitud de 280 mm. De una manera similar a como en el experimento 1, se calentó cada varilla de silicio policristalino hasta 650°C, y se sometió a enfriamiento de puntos mediante pulverización de agua a 25°C durante 10 segundos, y posteriormente se golpeó ligeramente con un martillo fabricado de carburo cementado. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

N.º	Disposición de	Número de boquillas	Separación entre boquillas	Aparición de grietas
-----	----------------	---------------------	----------------------------	----------------------

	boquillas		adyacentes (mm)	
8	un lado	2	90	B
9	un lado	2	100	A
10	un lado	3	90	B
11	un lado	3	100	A

En la tabla 2, la aparición de grietas expresada mediante "A" representa un caso en el que se generaron grietas a lo largo de toda la periferia de la varilla de silicio policristalino como en el caso del enfriamiento de un único punto. Una aparición de grietas expresada mediante "B" representa un caso en el que la propagación de grietas en la dirección circunferencial fue pequeña y las grietas se propagaron en una dirección (dirección longitudinal de la varilla de silicio policristalino) que comunicaba los puntos. De manera sorprendente e inesperada, la aparición de grietas en la dirección circunferencial fue notable en las muestras 9 y 11 a las que se les aplicó agua desde boquillas dispuestas con una separación mayor que la separación de boquillas en el caso de las muestras 8 y 10. La figura 7 muestra un estado roto de una varilla de silicio policristalino de la muestra n.º 9 tras golpearse con un martillo. En esta muestra, se generaron grietas a lo largo de toda la periferia de la varilla de silicio policristalino, y la varilla se rompió completamente desde las grietas. La figura 8 muestra un estado roto de una varilla de silicio policristalino de la muestra n.º 10 tras golpearse con un martillo. En esta muestra, las grietas se propagaron en una dirección longitudinal de la varilla de silicio policristalino, y la propagación de grietas se detuvo en la dirección circunferencial y las grietas no se propagaron a la parte de núcleo. Como resultado, tal como se muestra mediante la flecha, quedaron grandes trozos de silicio policristalino en el lado opuesto al punto de enfriamiento. Cuando la separación de las boquillas fue de 90 mm, las grietas se propagaron en una dirección longitudinal de la varilla de silicio policristalino. Esta aparición puede explicarse por una pequeña diferencia de temperatura entre el centro del punto y una posición alejada desde el centro en 2 veces el diámetro de la varilla de silicio policristalino debido a la pequeña separación entre los puntos adyacentes.

Experimento 3

A continuación, se llevó a cabo un experimento de agrietamiento similar usando boquillas dispuestas a ambos lados de la varilla de silicio policristalino, en el que se dispusieron boquillas a lo largo de una única línea a cada lado (a continuación en el presente documento esta disposición se denomina disposición a los dos lados). Se examinó la aparición de grietas en un caso en el que las boquillas en un lado estaban dispuestas en posiciones opuestas a las boquillas en el otro lado, es decir, posiciones giradas 180º desde las posiciones de boquillas en el otro lado alrededor de un eje de la varilla de silicio policristalino (esta disposición se denomina disposición opuesta). También se examinó la aparición de grietas en un caso en el que las boquillas en un lado estaban dispuestas en posiciones intermedias entre posiciones opuestas de las boquillas en el otro lado (esta disposición se denomina disposición no opuesta). El diámetro de abertura de cada boquilla era de aproximadamente 1 mm, y la velocidad de flujo de expulsión era de 0,0008 m³/minuto. La razón ratio de diámetro de punto/diámetro de varilla era de 0,21. Se pulverizó el agua a una temperatura de 25°C durante 10 segundos. Cada varilla de silicio policristalino tenía un diámetro de 125 mm y una longitud de 280 mm. Tras calentar la varilla de silicio policristalino a aproximadamente 650°C, se sometió la varilla a un experimento de enfriamiento. Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

N.º	Disposición de boquillas	Número de boquillas	Espacio entre boquillas adyacentes (mm)	Aparición de grietas
12	Disposición opuesta	Dos a cada lado	100	D
13	Disposición no opuesta	Dos a cada lado	100	E
14	Disposición no opuesta	Dos en un lado y tres en el lado opuesto	100	E

En la tabla 3, la aparición de grieta expresada mediante "D" representa un caso en el que se generaron grietas a lo largo de toda la periferia de la varilla de silicio policristalino como en el caso del enfriamiento de un único punto. Cuando se golpeó la varilla de silicio policristalino de este caso con martillo, la varilla se rompió a lo largo de grietas. Sin embargo, permaneció un trozo relativamente grande ya que no era probable que se produjeran grietas en una parte distinta de la proximidad del punto de enfriamiento. En el caso que muestra la aparición de grietas expresada mediante "E" en la tabla 3, se generaron grietas en el 80% o más en volumen de la parte completa de la varilla de silicio policristalino, aunque no era probable que se produjera agrietamiento en partes pequeñas en ambas partes de extremo de la varilla de silicio policristalino. La figura 9 muestra la muestra n.º 12, y la figura 10 muestra la muestra n.º 14. Ambas figuras muestran el estado roto de las muestras tras golpearse con un martillo.

Experimento 4

Usando la disposición de boquillas mostrada en el n.º 14, se sometieron varillas de silicio policristalino a un experimento de enfriamiento en el que se pulverizó agua de manera continua mientras se detenía la varilla de silicio

5 policristalino frente a las boquillas durante de 3 a 10 segundos. Las demás condiciones experimentales fueron similares a las del experimento 3. Golpeando cada varilla de silicio policristalino con un martillo, la varilla de silicio policristalino se trituró fácilmente en trozos pequeños. Los tamaños de los trozos estaban relacionados con la duración de la pulverización de agua. Cuando la duración de la pulverización de agua era de 3 segundos, de cuatro a seis fragmentos de los veintitrés fragmentos tenían una longitud máxima de 50 mm o más. Cuando la duración de la pulverización de agua era de 5 segundos, de dos a tres fragmentos de cuarenta y tres fragmentos tenían una longitud máxima de 50 mm o más. Cuando la duración de la pulverización de agua era de 10 segundos, ninguno de los fragmentos tenía un tamaño de 50 mm o más. También se generaron grietas en el caso de la pulverización de agua mientras se movía (se bajaba) la varilla de silicio policristalino, y se trituró la varilla para formar trozos golpeando con un martillo. Sin embargo, en este caso, la proporción de trozos de gran tamaño era relativamente mayor que en el caso en el que se aplicó agua a la varilla de silicio policristalino en un estado detenido.

10
15 Mediante un análisis de simulación de la distribución térmica en la varilla de silicio policristalino, se obtuvo el resultado mostrado en la figura 11. En la figura 11, un bloque tenía 5,7 mm cuadrados, el diámetro de punto era de 5,7 mm, la diferencia de temperatura entre el centro del punto y una posición separada del centro en dos veces el diámetro de punto era de 216°C en la dirección longitudinal de la varilla, y 264°C en la dirección radial (dirección hacia el centro).

20 Aunque la realización anteriormente descrita se ha explicado para un caso en el que se calentó y se enfrió rápidamente una única varilla de silicio policristalino, es posible calentar y enfriar rápidamente una pluralidad de varillas de silicio policristalino simultáneamente. Por ejemplo, la figura 12 muestra un caso en el que se pulveriza agua a tres varillas (R) de silicio policristalino colocadas sobre un soporte (2) en una disposición paralela de tal manera que una varilla (R) está soportada por dos varillas (R). En este caso, las boquillas (4) están dispuestas en la pared (5b) de fondo del baño (5) de agua así como en las paredes (5a) laterales, y se pulveriza agua a múltiples puntos a lo largo de una dirección circunferencial de cada una de las varillas (R) de silicio policristalino desde múltiples direcciones (dos direcciones en la figura 12). Cuando se aplica el agua desde las boquillas (4) dispuestas en la pared (5b) de fondo, el baño de agua puede llenarse con agua tras el enfriamiento de parte local. Alternativamente, pueden proporcionarse boquillas (4) de manera móvil en posiciones por debajo de las varillas (R) de silicio policristalino y por encima de la superficie del agua en el baño (5) de agua durante el enfriamiento de parte local. Cuando se proporciona un baño de agua para sumergir la varilla de silicio policristalino en agua, el baño de agua puede configurarse para pulverizar agua a una superficie de la varilla de silicio policristalino instalada en el baño de agua. Mediante esta configuración, puede prevenirse de manera segura la aparición de un fenómeno de ebullición por películas.

35 Preferiblemente, se usa agua pura como fluido refrigerante en el enfriamiento de parte local. Aunque se usó agua como fluido refrigerante para pulverizarla a la varilla de silicio policristalino en la realización anteriormente descrita, también puede usarse nitrógeno líquido o similar como fluido refrigerante. Aunque la altura de las boquillas dispuestas a ambos lados de la varilla de silicio policristalino se fija al mismo nivel en la realización mostrada en la figura 1, es posible disponer las boquillas a ambos lados a diferentes niveles. Cuando las boquillas en un primer lado se fijan a un nivel superior a las boquillas en un segundo lado, se pulveriza agua a la varilla de silicio policristalino desde el primer lado y desde el segundo lado con un intervalo de tiempo. Alternativamente, las boquillas se fijan al mismo nivel a ambos lados y el agua puede pulverizarse alternativamente desde un lado diferente. En la realización anteriormente descrita, se proporciona un baño de agua para enfriar completamente la varilla de silicio policristalino tras enfriar localmente la varilla. Como alternativa, la unidad de enfriamiento completo puede configurarse para pulverizar a modo de ducha fluido refrigerante a la superficie completa de la varilla de silicio policristalino. Aunque anteriormente se han descrito e ilustrado realizaciones preferidas de la invención, debe entenderse que son a modo de ejemplo de la invención y no deben considerarse como limitativas. Pueden realizarse adiciones, omisiones, sustituciones y otras modificaciones sin apartarse del alcance de la presente invención. Por consiguiente, la invención no debe considerarse limitada por la descripción anterior, y sólo se limita por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino, que comprende:
- 5 calentar una varilla de silicio policristalino;
- posteriormente realizar un enfriamiento de parte local de la varilla de silicio policristalino para aplicar un fluido refrigerante sobre al menos una zona a modo de punto de una superficie de la varilla de silicio policristalino; y
- 10 realizar un enfriamiento completo para hacer que una sustancia refrigerante entre en contacto con una superficie completa de la varilla de silicio policristalino tras el enfriamiento de parte local,
- caracterizado porque el fluido refrigerante se expulsa desde boquillas dispuestas a ambos lados de la varilla de silicio policristalino,
- 15 porque una pluralidad de boquillas están dispuestas con espacios entre boquillas adyacentes a cada lado de la varilla de silicio policristalino a lo largo de una dirección longitudinal de la varilla de tal manera que una posición sustancialmente central de cada espacio entre boquillas adyacentes en un primer lado está enfrentada a una boquilla en un segundo lado, y
- 20 porque cada una de las zonas a modo de punto tiene un diámetro no inferior a 0,20 D y no superior a 0,32 D, en el que D representa un diámetro de la varilla de silicio policristalino.
- 25 2. Método de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino según la reivindicación 1, caracterizado porque cada una de las boquillas que expulsan el fluido refrigerante tiene un área en sección transversal de abertura no inferior a 0,5 mm² y no superior a 20 mm², y el fluido refrigerante se expulsa desde una punta de la boquilla situada a una distancia no inferior a 1 mm y no superior a 200 mm desde una superficie de la varilla de silicio policristalino.
- 30 3. Método de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el fluido refrigerante se pulveriza a la varilla de silicio policristalino con una velocidad de flujo no inferior a 0,0006 m³/minuto y no superior a 0,006 m³/minuto sobre cada una de las zonas a modo de punto sobre la superficie de la varilla de silicio policristalino.
- 35 4. Método de generación de grietas en una varilla de silicio policristalino según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la sustancia refrigerante es un fluido refrigerante.
- 40 5. Método de producción de trozos de silicio policristalino, caracterizado porque comprende:
- generar grietas en una varilla de silicio policristalino según un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4; y
- 45 realizar una trituración de la varilla de silicio policristalino para formar trozos de silicio policristalino mediante impacto mecánico tras el enfriamiento completo.
- 50 6. Aparato (1) de generación de grietas (C) en una varilla (R) de silicio policristalino calentando la varilla (R) de silicio policristalino y posteriormente enfriando bruscamente la varilla (R) de silicio policristalino, que comprende:
- una unidad (3) de calentamiento para calentar una varilla (R) de silicio policristalino;
- una unidad de enfriamiento de parte local mediante la cual se aplica un fluido refrigerante sobre al menos una zona a modo de punto de una superficie de la varilla (R) de silicio policristalino; y
- 55 una unidad (5) de enfriamiento de parte completa que hace que una sustancia refrigerante entre en contacto con una superficie completa de la varilla (R) de silicio policristalino,
- caracterizado porque la unidad de enfriamiento de parte local incluye boquillas (4) que están dispuestas a ambos lados de la varilla (R) de silicio policristalino,
- 60 porque una pluralidad de boquillas (4) están dispuestas con espacios entre boquillas adyacentes a cada lado de la varilla de silicio policristalino a lo largo de una dirección longitudinal de la varilla (R) de tal manera que una posición sustancialmente central de cada espacio entre boquillas (4) adyacentes en un primer lado está enfrentada a una boquilla (4) en un segundo lado, y
- 65

porque cada una de las zonas a modo de punto tiene un diámetro no inferior a $0,20 D$ y no superior a $0,32 D$, en el que D representa un diámetro de la varilla (R) de silicio policristalino.

- 5 7. Aparato (1) de generación de grietas (C) en una varilla (R) de silicio policristalino según la reivindicación 6, caracterizado porque la sustancia refrigerante es un fluido refrigerante.

FIG. 1

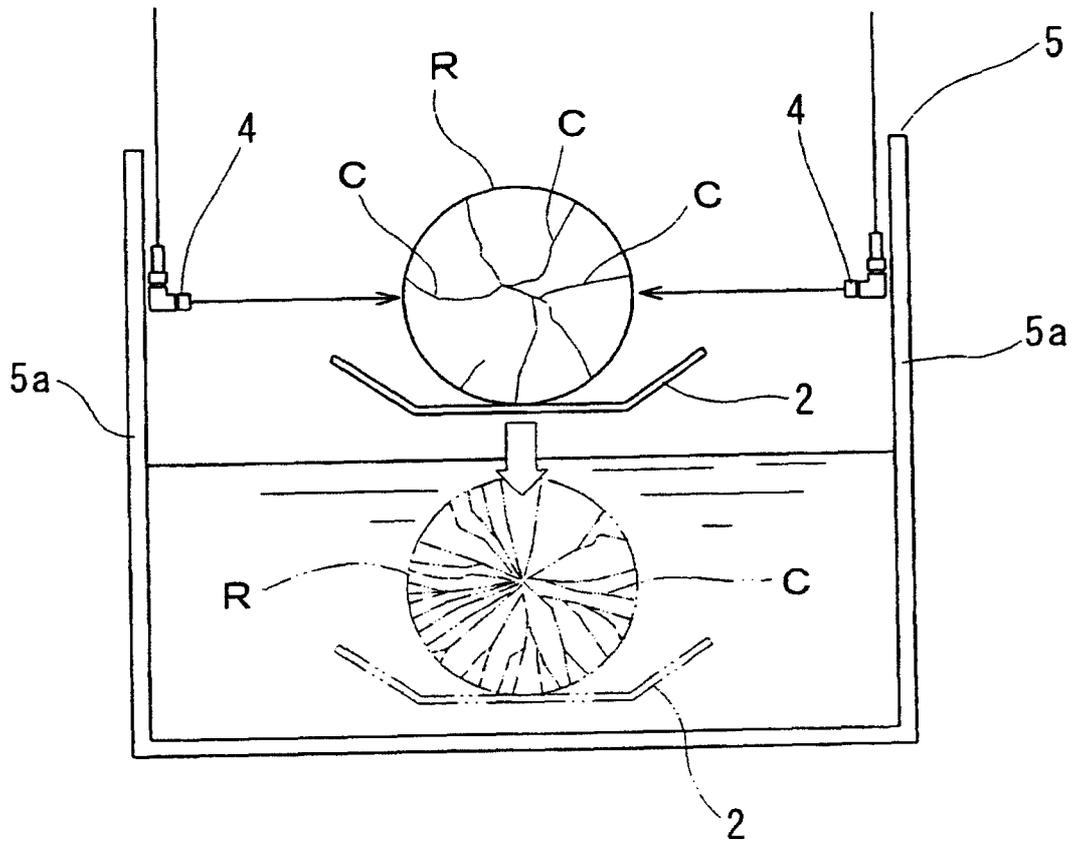


FIG. 2

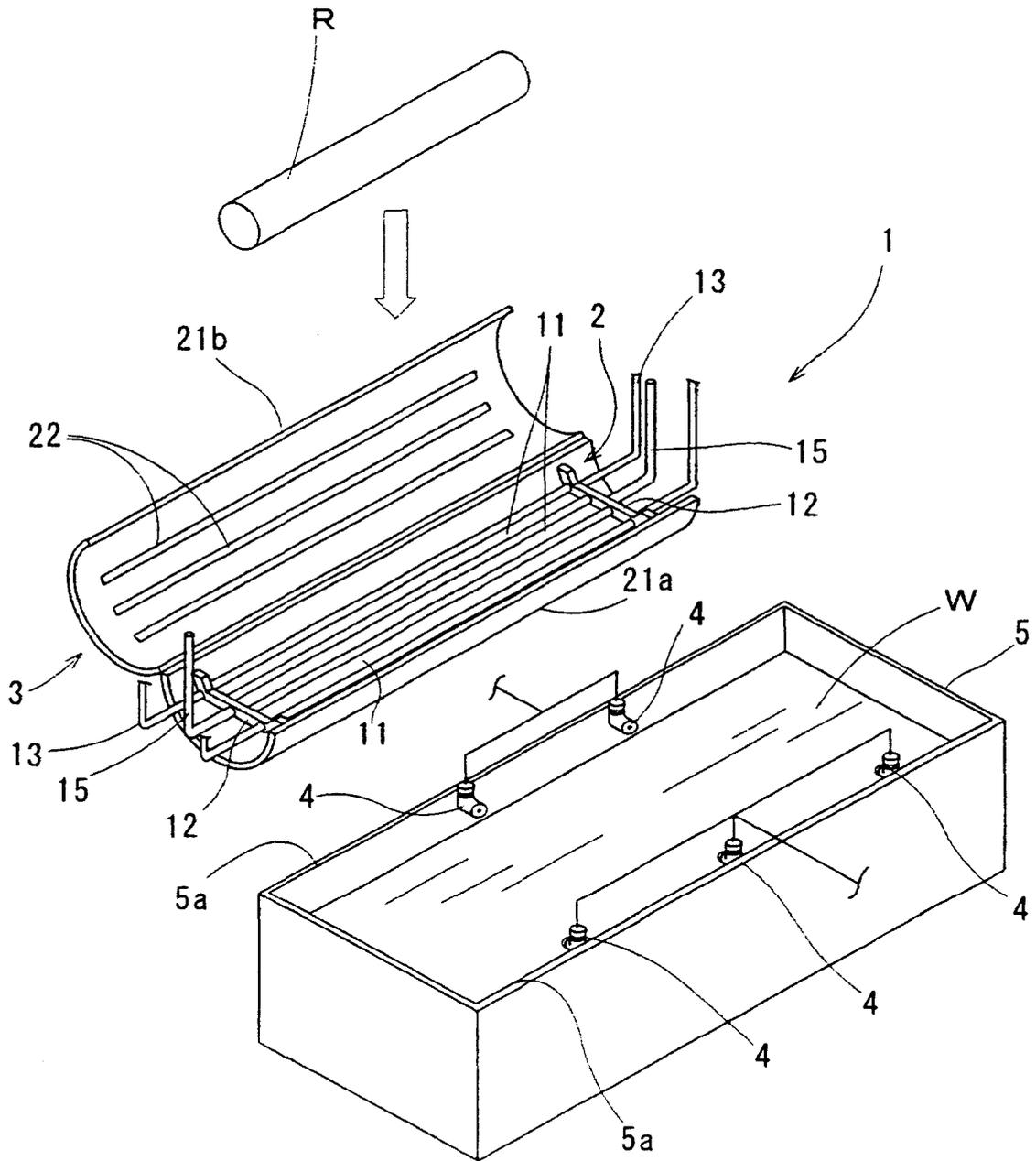


FIG. 3

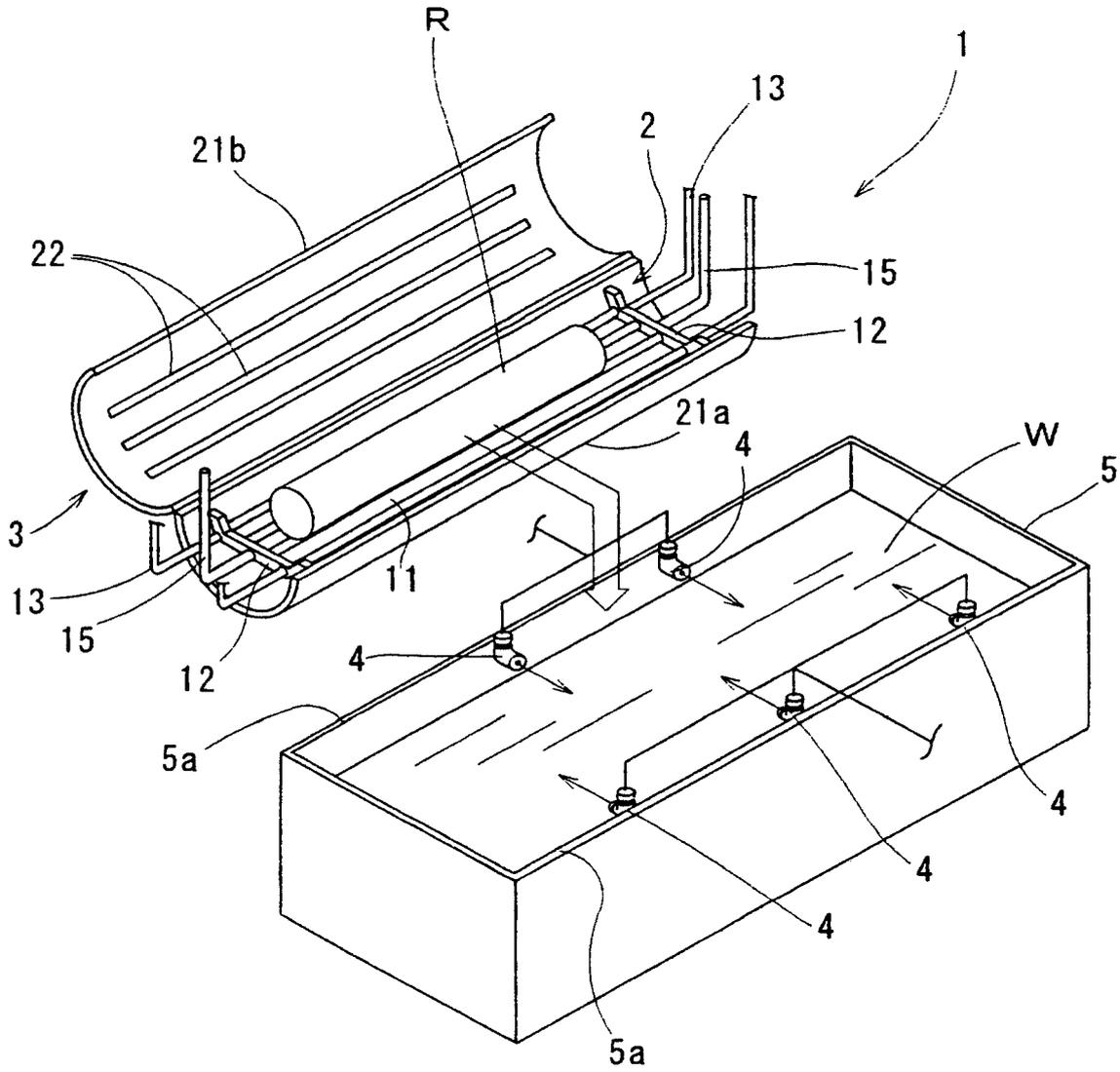


FIG. 4

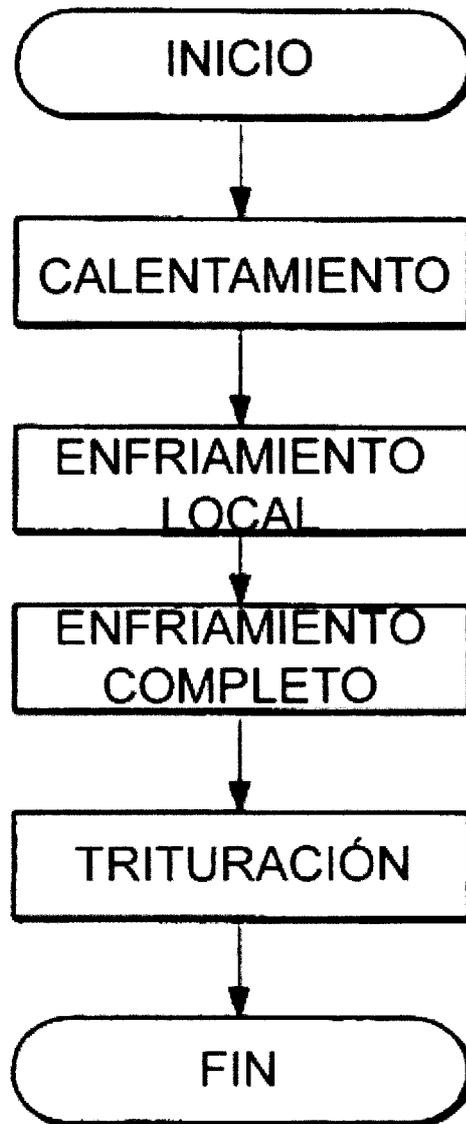


FIG. 5A

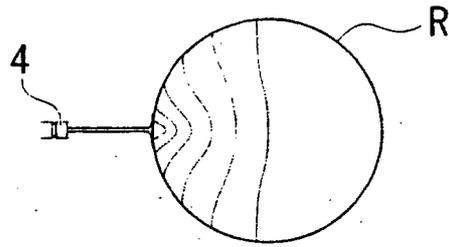


FIG. 5B

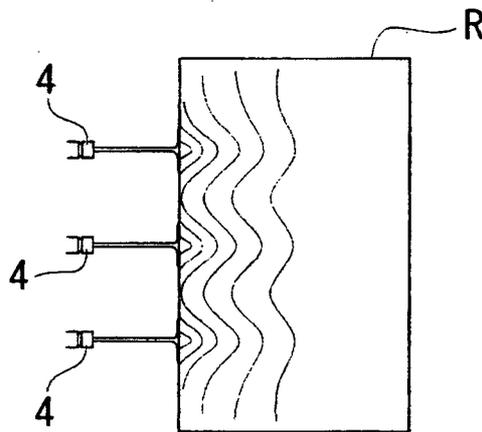


FIG. 5C

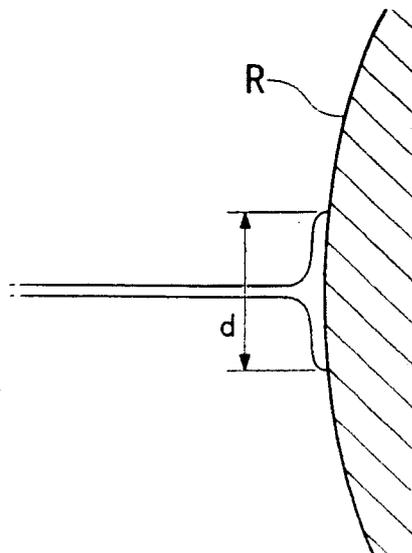


FIG. 6

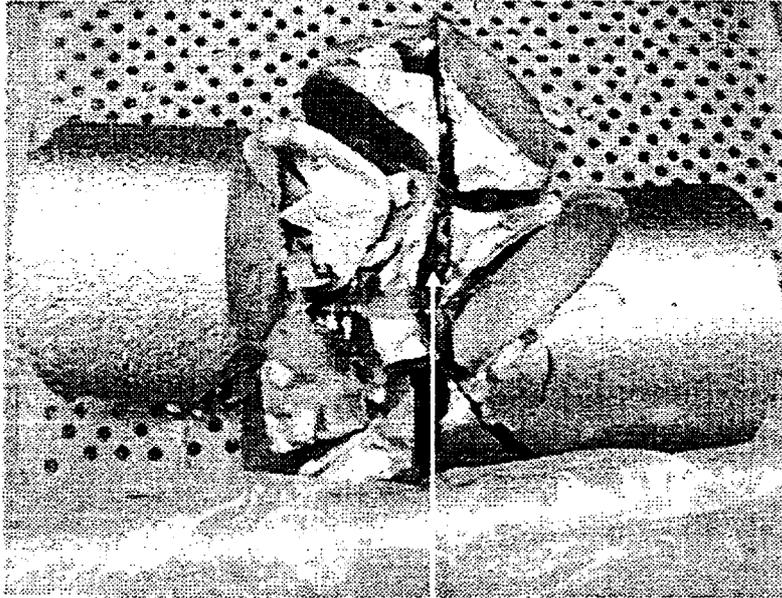


FIG. 7



FIG. 8

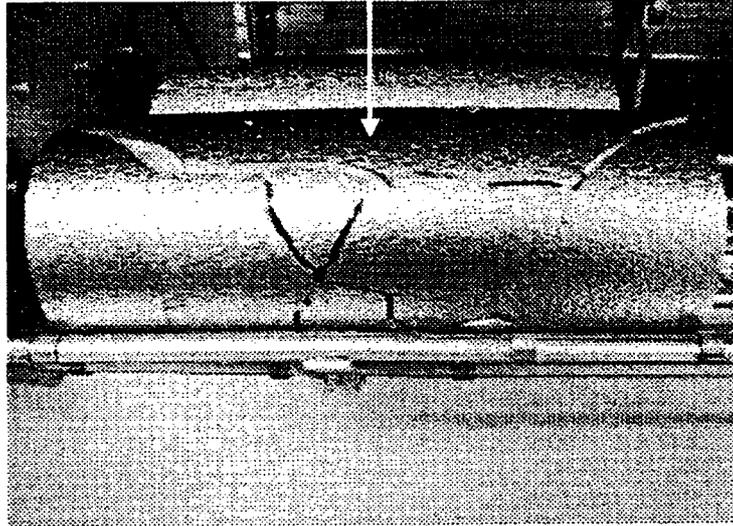


FIG. 9

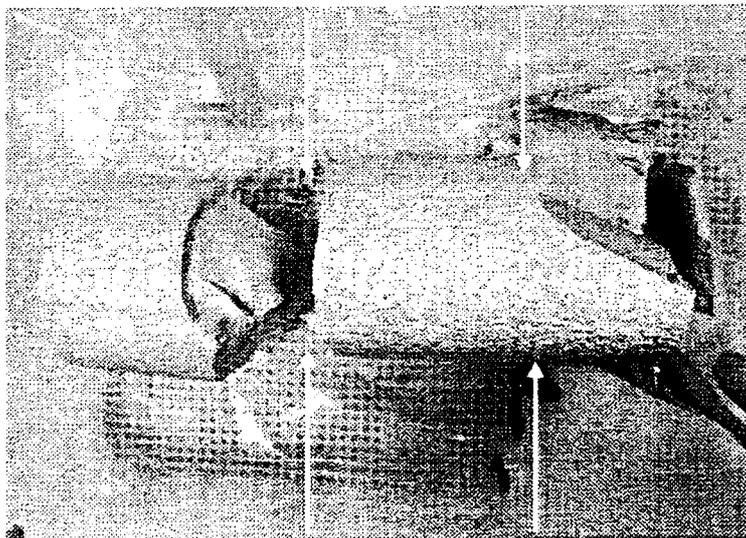


FIG. 10

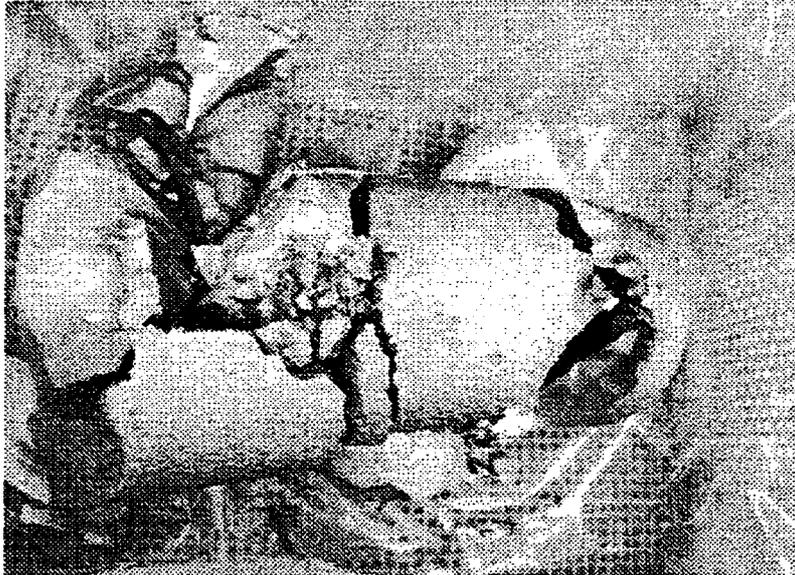


FIG. 11

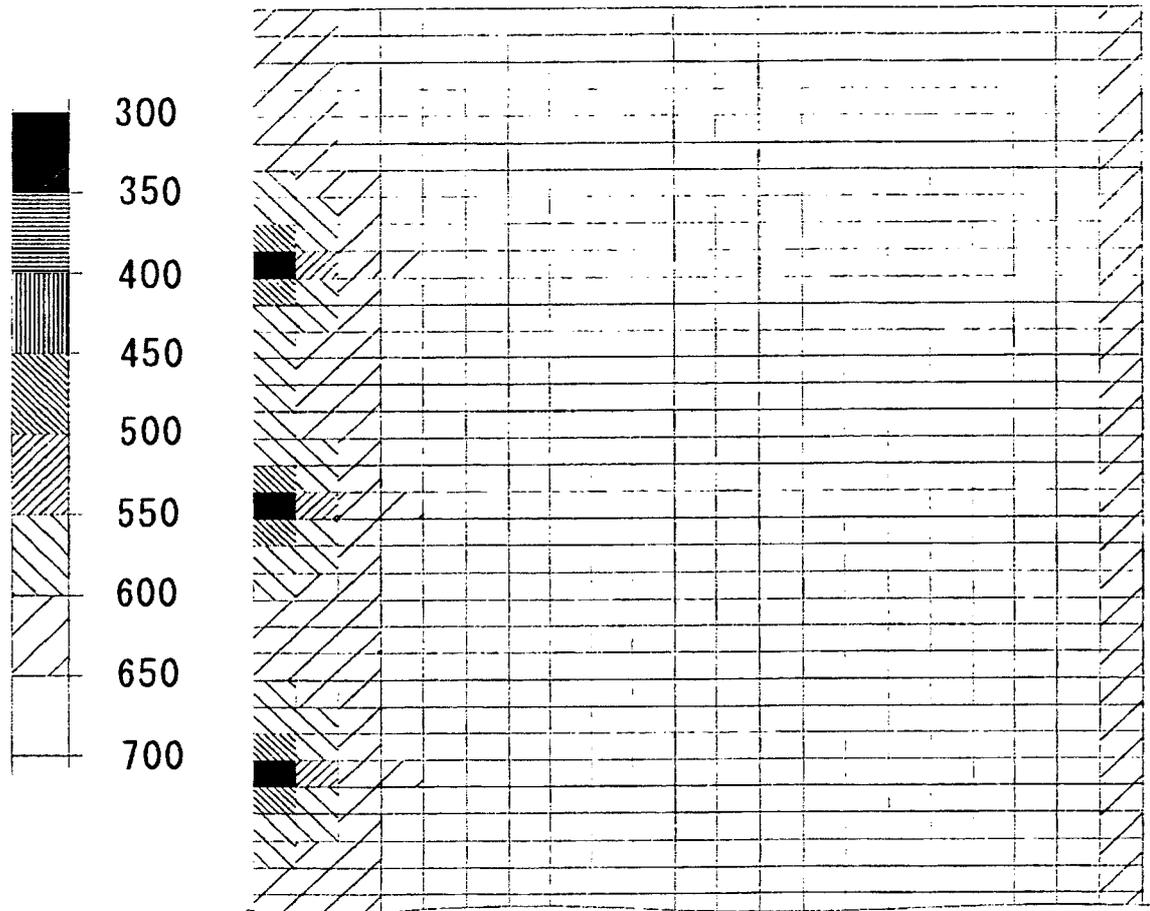


FIG. 12

