



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 363 099**

51 Int. Cl.:

C30B 29/06 (2006.01)

C30B 15/34 (2006.01)

C30B 15/14 (2006.01)

C30B 15/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07114918 .1**

96 Fecha de presentación : **24.08.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1895030**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.03.2008**

54

Título: **Procedimiento y disposición para la fabricación de un tubo.**

30

Prioridad: **04.09.2006 DE 10 2006 041 736**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.07.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.07.2011

73

Titular/es: **SCHOTT SOLAR AG.**
Hattenbergstrasse 10
55122 Mainz, DE

72

Inventor/es: **Seidl, Albrecht y**
Schwirtlich, Ingo

74

Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 363 099 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 disposición para la fabricación de un tubo

La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de un tubo cristalino a partir de un material como silicio a través de estiramiento del tubo desde una colada, que es generada por medio de la fundición del material alimentado a un crisol de fundición por medio de una calefacción, en el que la colada atraviesa un intersticio capilar que predetermina la geometría del tubo y se proyecta más allá de este intersticio con un menisco de una altura h , que pasa a un germen de cristal que corresponde a la geometría del tubo o bien a una zona marginal inferior de una sección estirada del tubo a fabricar. Además, la invención se refiere a una disposición para el estiramiento de un tubo a partir de una colada que comprende un crisol de fundición con un intersticio capilar que predetermina la geometría del tubo y que es atravesado por la colada, cuyo intersticio puede ser excedido por la colada con un menisco de una altura h , y al menos una calefacción asociada al crisol de fundición así como una instalación de estiramiento que estira el tubo.

Un procedimiento correspondiente es un procedimiento conocido también como EFG (Edge-Defined-Film-Fed-Growth), con el que se pueden estirar tubos poligonales, como en particular tubos octogonales a partir de una colada, como colada de silicio. Las distancias habituales entre los cantos son 125 mm. Desde los lados correspondientes se recortan a continuación discos por medio de láser, que presentan longitudes de los cantos de 100 x 100 mm o mayores.

Se conocen desde hace mucho tiempo disposiciones, con las que se realizan los procedimientos EFG y se han descrito exhaustivamente. A este respecto, se remite a modo de ejemplo a los documentos EP-B-0 369 474 o US-B-6.562.132 así como a los lugares de la literatura que se deducen a partir de estos documentos. En este caso, de acuerdo con el documento US-B-6.562.132, la alimentación de partículas de silicio que deben fundirse o bien el campo electromagnético son regulados por bobinas de inducción para el calentamiento de la colada.

El documento DE-T-691 24 441 tiene como objeto un sistema para la regulación de una instalación para el crecimiento de cristales. Para estirar tubos con espesor de pared unitario, se propone que el peso real del cuerpo de cristal de crecimiento sea utilizado como magnitud de regulación para alimentar material a la colada en la extensión necesaria.

El documento US-A-4.554.528 describe un dispositivo para el estiramiento de tubos de acuerdo con el procedimiento EFG. En este caso, el dispositivo se caracteriza porque en la zona de transición de la colada y el tubo solidificado están previstos unos escudos calefactores. Además, están incorporadas instalaciones interiores y exteriores de calefacción posterior en la zona del tubo solidificado.

El documento DE-A-23 25 104 se refiere a procedimientos de estiramiento de cristales para tubos e hilos, respectivamente. Para mantener el diámetro exterior de los tubos dentro de límites prescritos, se mide la altura del menisco y se regula la temperatura en función de su altura.

Para el cultivo de monocristales, se utiliza, de acuerdo con RU-C-2 222 646 así como RU-C-2 230 839 un crisol que recibe una colada, en el que están dispuestos un moldeador con canales, que son atravesados por la colada. Los canales terminan en la zona superior del moldeador en el caso de un cristal de vacunación. Para la fundición está previsto un dispositivo calefactor, que está constituido por láminas en forma de U, que están dobladas de acuerdo con la forma del crisol. Las láminas están dispuestas en secciones, para conseguir estados isotérmicos que se extienden radialmente.

El NL. Z.: BEHNKEN, H.; SEIDL, A.; FRANKE, D. A 3D dynamic stress modul for the growth of hollow silicon polygons en: Journal of Crystal Growth, 2005, Vol. 275, páginas e375 – e380 describe el estiramiento de tubos de acuerdo con el procedimiento EFG. Lo mismo se puede deducir a partir de NL. Z.: MACKINTOSH y col.: "Large silicon crystal hollow-tube growth by the edge-defined film-fed growth (EGF) method" JOURNAL OF CRYSTAL GROWTH, ELSEVER, AMSTERDAM, NL, Vol. 287, N1 2, 25 de Enero de 2006 (2006-01-25); páginas 428-432, XP005248239 ISSN: 0022-0248. El documento US-A-4.116.641 se refiere a un procedimiento para el estiramiento de una banda que está constituida de silicio de acuerdo con el procedimiento EFG. En este caso, se puede regular la temperatura de zonas de la colada del material de silicio, a partir del cual se estira la banda, de manera independiente unas de las otras, para poder ajustar una temperatura deseada en la zona de menisco.

Para el estiramiento de una banda a partir de una colada de silicio se emplea, de acuerdo con el documento US-A-4.242.589, de la misma manera el procedimiento EFG. Para la fundición del silicio se utilizan elementos calefactores, cuyas potencias se pueden ajustar para la regulación de la velocidad de crecimiento.

La presente invención tiene el cometido de desarrollar un procedimiento y una disposición del tipo mencionado al principio, de tal manera que se pueden fabricar tubos, que presentan un espesor de pared constante deseado, es decir, que muestran una distribución estrecha del espesor. En este caso, debe reducirse al mínimo especialmente el empleo medio del material, a partir del cual se estira el tubo. En particular, en la fabricación de obleas, que están

constituidas de silicio, deben conseguirse espesores, que conducen a un alto grado de llenado y, por lo tanto, a un alto rendimiento de una célula solar.

De acuerdo con la invención, el cometido se soluciona esencialmente por medio de un procedimiento del tipo mencionado al principio, porque la temperatura se ajusta por medio de regulación en zonas de la colada de manera independiente unas de las otras en función del espesor de pared t de la sección de tubo extraída desde la zona respectiva.

Con este procedimiento se pueden conseguir tubos según la invención de acuerdo con la reivindicación 18.

A diferencia del estado de la técnica, para el estiramiento de tubos se propone un proceso de regulación, en virtud del cual se pueden fabricar tubos reproducibles con una distribución estrecha del espesor con una reducción al mínimo del espesor de pared, de manera que especialmente durante la fabricación de tubos de silicio para la producción de obleas, se reduce al mínimo el empleo medio del silicio. Por consiguiente, se estira el tubo a partir de una colada, cura temperatura se ajusta regulada por secciones o bien por segmentos.

De acuerdo con la invención se puede realizar una regulación de la temperatura de la colada de tal forma que en el menisco y en concreto en la zona de transición entre las colada y la sección de tubo solidificada, predomina una temperatura, que corresponde al punto de fundición del material. En particular, la temperatura del silicio como el material es $1412\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, siendo mantenida la temperatura constante con una exactitud de $0,1\text{ °C}$ a 2 °C .

Para no tener que medir directamente la temperatura en el menisco, se utiliza el espesor o bien el espesor de pared t del tubo en la zona respectiva o bien por encima de ésta como variable de regulación, para ajustar las temperaturas en la zona en función de los valores medidos. Al mismo tiempo, la velocidad de estiramiento se puede modificar de forma correspondiente, siendo reguladas, en principio, tanto la velocidad de estiramiento como también la temperatura.

La medición del espesor del tubo se realiza con preferencia en la zona marginal superior del dispositivo de estiramiento.

La regulación individual de las temperaturas en las zonas individuales se realiza especialmente asociando a cada zona un elemento calefactor separado como con preferencia un elemento calefactor de resistencia, que están conectados entre sí con preferencia en un circuito de estrella.

No obstante, existe también la posibilidad de asociar a toda la zona un único elemento calefactor. En este caso se trata con preferencia de un elemento calefactor por inducción, es decir, que el crisol de fundición está rodeado por una bobina de inducción. No obstante, para poder ajustar en las zonas individuales la temperatura de acuerdo con la regulación a realizar, se varía el campo magnético individualmente en cada zona. A tal fin, están previstos elementos ferríticos, que influyen sobre el campo magnético. En este caso, cada elemento ferrítico, que está asociado en cada caso a una zona, se puede ajustar radialmente, por ejemplo, por medio de un motor. De esta manera, con medidas sencillas se da la posibilidad de regular la temperatura de la colada de tal forma que la constancia de temperatura necesaria predomina en el menisco.

Con respecto a la velocidad de estiramiento, está previsto que ésta sea ajustada a un valor entre 7 mm/min hasta 24 mm/min . con una tolerancia de 1 mm/min . estando de manera más preferida la velocidad de estiramiento entre 12 mm/min y 15 mm/min .

Si el tubo presenta una geometría poligonal, entonces a cada lado del polígono está asociada una zona, es decir, que cada lado es regulado individualmente en la temperatura. De esta manera, en el caso de un octógono están previstos ocho elementos calefactores o bien ocho elementos ferríticos regulables de una manera independiente unos de los otros cuando se utiliza una calefacción por inducción. En el caso de un dodecágono, estén presentes de manera correspondiente doce elementos calefactores o bien elementos ferríticos, para poder realizar la regulación de la temperatura.

Si se utiliza un elemento calefactor de la resistencia, entonces éste está constituido con preferencia de grafito. De la misma manera se contemplan elementos calefactores de resistencia metálicos, con los que se pueden generar las temperaturas necesarias para el ajuste de las temperaturas de fundición.

La temperatura de la función no se mide con frecuencia directamente condicionada por el diseño. En su lugar, se calcula la temperatura de la pared del baño de colada, por ejemplo un con pirómetro. No obstante, existe también la posibilidad de detectar la temperatura de la colada directamente, por ejemplo, por medio de un termoelemento.

Para medir la altura h del menisco, es decir, la transición entre la fase sólida y la fase líquida, se utiliza un sensor óptico. En particular, está prevista una cámara CCD con procesamiento de imágenes. A tal fin, en la envolvente del baño de colada pueden estar presentes ventanas de observación, para calcular en cada zona la altura h del menisco.

El espesor de pared de la sección de tubo estirada desde la zona se puede medir por medios interferométricos, como por ejemplo con un interferómetro IR. Las instalaciones de medición para la medición de los espesores de pared o bien la altura del menisco se conectan con un regulador, a través del cual se regula a continuación la calefacción para las zonas individuales. Desde el regulador se puede predeterminar también la velocidad de estiramiento.

Por lo demás, el material a fundir es introducido en el crisol de fundición de tal forma que a cada zona se alimenta la cantidad que corresponde a la cantidad que ha sido extraída desde la colada. A tal fin, el tubo y la alimentación de material están conectados, respectivamente, con una célula de pesaje, para poder realizar la regulación necesaria.

En virtud de las enseñanzas de acuerdo con la invención, en comparación con procedimientos EFG conocidos anteriormente para la fabricación de tubos existe la posibilidad de fabricar tubos industriales con una periferia de 1,50 m o más y con una longitud de más de 6 metros, presentando el espesor de pared una distribución estrecha del espesor. En particular, existe la posibilidad de fabricar tubos con espesores de pared entre $100\ \mu\text{m}$ y $300\ \mu\text{m}$ con una tolerancia entre 8 y 12 %. Si en el tubo estirado se trata de silicio, se pueden fabricar, por lo tanto, obleas de silicio de tamaños deseados, en particular con longitudes de los cantos de hasta 156 mm (6 pulgadas), espesores de pared inferiores a $350\ \mu\text{m}$, en particular inferiores a $290\ \mu\text{m}$, de manera que resulta un factor de llenado alto, una alta densidad de la corriente de cortocircuito y una tensión de marcha en vacío alta de una célula solar fabricada a partir de la oblea de silicio policristalino, valores que no están disponibles con la reproducibilidad que se puede alcanzar con la presente invención según el estado de la técnicas al menos a escala industrial.

El procedimiento del tipo mencionado al principio se caracteriza especialmente porque la temperatura de la colada – con preferencia en zonas adyacentes entre sí independientes unas de las otras- es regulada de tal forma que la temperatura del menisco se mantiene sobre toda la longitud del intersticio en un valor constante o casi constante y/o se regula la temperatura de zonas adyacentes entre sí del crisol de fundición de manera independiente unas de las otras en función del espesor de pared t de la sección de tubo mostrada en la zona y/o se regula la velocidad de estiramiento de la de la sección de tubo estirada a partir de la colada en función de la altura t del menisco y/o del espesor de pared t de la sección de tubo.

Una disposición del tipo mencionado al principio se caracteriza porque adyacentes entre sí del crisol de fundición y/o de la colada se pueden regular en la temperatura de manera independientes entre sí por medio de una calefacción o de varias calefacciones en función del espesor de pared t de la zona medido por medio de primeras instalaciones de medición asociadas a cada zona.

No obstante, también existe la posibilidad de que a todas las zonas esté asociado un elemento calefactor por inducción como bobina de inducción, estando asociado a cada zona un elemento ferrítico que influye sobre el campo magnético del elemento calefactor por inducción, que se pueden regular de manera independiente entre sí. En particular, cada elemento ferrítico puede ser regulado por medio de un motor.

Los sensores para la medición del espesor de pared t deberían estar dispuestos a distancia suficiente de la colada, con preferencia en la zona marginal superior de la instalación de estiramiento o bien de su carcasa.

En un desarrollo, la invención prevé que la primera instalación de medición, que mide el espesor de pared t de la sección de tubo estirada a partir de la zona, sea un interferómetro como interferómetro IR.

En un desarrollo, está previsto que a cada zona esté asociada una segunda instalación de medición que mide la altura h del menisco, en la que se trata especialmente de una cámara CCD con procesamiento de imágenes conectado.

La primera y/o segunda instalación de medición y las calefacciones regulables en las zonas están conectadas por medio de un regulador, que debería estar conectado también con la instalación de estiramiento.

El tubo, que está fabricado de acuerdo con el procedimiento según la invención, se caracteriza especialmente porque el tubo (46) presenta una periferia U con $U \geq 150\ \text{cm}$, una longitud L con $L \geq 600\ \text{cm}$ y un espesor de pared con $100\ \mu\text{m} \leq t \leq 500\ \mu\text{m}$. Con preferencia, el tubo presenta una geometría de dodecágono.

Los espesores de pared preferidos del tubo están entre $250\ \mu\text{m}$ y $350\ \mu\text{m}$ con una tolerancia del espesor entre 20 % y 30 % o bien entre $100\ \mu\text{m}$ y $240\ \mu\text{m}$ con una tolerancia del espesor entre 8 % y 12 %.

En el caso de utilización de elementos calefactores de resistencia como las calefacciones que regulan las temperaturas de las zonas individuales, en un desarrollo de la invención está previsto que la disposición esté rodeada por una carcasa que está constituida de metal, una posibilidad que no es posible en el caso de empleo de una calefacción por inducción. La carcasa metálica presenta en el lado de la cabeza una abertura, que corresponde a la geometría del tubo para la realización del tubo. Los elementos calefactores de resistencia deberían estar constituidos de manera más preferida de grafito.

En la zona de la cabeza de la carcasa se encuentran con preferencia los sensores para la medición del espesor de la pared.

5 Para la medición de la temperatura están previstos sensores de temperatura como pirómetros o termoelementos, siendo medida por medio de los pirómetros la pared de fondo del crisol de fundición, para poder sacar conclusiones de esta manera sobre la propia temperatura de fundición.

El crisol de fundición presenta una geometría en forma de anillo, siendo el diámetro exterior entre 5 % y 15 % mayor que la diagonal máxima del tubo.

10 El intersticio capilar está conectado a través de una pluralidad de taladros o ranuras pequeñas con el crisol de fundición, es decir, con la colada que está presente en éste. Si el intersticio presenta una geometría de polígono, entonces a cada lado del polígono está asociada una de las zonas que puede ser regulada en la temperatura de manera independiente entre sí.

15 Para conducir el material a fundir al crisol de fundición, una instalación de alimentación conduce a través del fondo de la disposición para distribuir a continuación el material sobre la instalación de desviación de una manera uniforme sobre las zonas individuales del crisol de fundición: por encima del crisol de fundición, el tubo estirado a partir de la colada está rodeado por elementos de aislamiento, para posibilitar una refrigeración selectiva.

Otros detalles, ventajas y características de la invención se deducen no sólo a partir de las reivindicaciones, las características que se pueden deducir a partir de éstas –por sí y/o en combinación-, sino también a partir de la descripción siguiente de ejemplos de realización referidos que se pueden deducir a partir del dibujo. En este caso:

20 La figura 1 muestra una representación de principio de una primera forma de realización de una disposición para el estiramiento de un tubo a partir de una colada.

La figura 2 muestra un detalle de la disposición según la figura 1.

La figura 3 muestra un esquema equivalente.

La figura 4 muestra una representación de principio de una segunda forma de realización de una disposición para el estiramiento de un tubo a partir de una colada.

25 La figura 5 muestra un detalle de la disposición según la figura 4, y

La figura 6 muestra una representación de principio para la determinación de una variable de ajuste.

30 En las figuras, en las que se utilizan, en principio, los mismos signos de referencia para los mismos elementos, se puede deducir disposiciones o bien detalles de éstas, con las que se pueden estirar tubos de acuerdo con el procedimiento EFG. No obstante, la invención no está limitada a tubos de geometría poligonal. En su lugar, los tubos pueden presentar también una geometría circular en la sección.

35 La disposición 10 presenta de acuerdo con la representación según la figura 1 una carcasa 12 que se puede designar también como recipiente, que recibe un aislamiento del fondo, en el que está dispuesto un crisol de fundición 16 de forma anular. En el crisol de fundición 16 se funde un material 20 introducido a través de una instalación de alimentación 18 y, en concreto, en el ejemplo de realización de las figuras 1 y 2 por medio de elementos calefactores de resistencia 22, 24, 26, 28, a través de los cuales se pueden calentar zonas adyacentes entre sí del crisol de fundición 16. Una división correspondiente se indica en la figura 5 y se identifica con los signos de referencia 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31.

40 El material, que se alimenta al crisol de fundición 16, puede presentar una morfología de forma esférica, poligonal o en forma de barra y se introduce a través de un orificio 30 que atraviesa el fondo de la carcasa 12 y el aislamiento del fondo 14 por medio de un dispositivo de soplado 32, siendo realizada la desviación a través de un elemento 34, que presenta una geometría de forma esférica en el lado del material, que es similar a la geometría de una pantalla, de manera que el material que forma, en principio, un granulado, es conducido a lo largo de la superficie 36 de un elemento esférico en la dirección del crisol de fundición 16, es decir, de su alojamiento 40 configurado de forma anular. En este caso, se lleva a cabo una distribución uniforme del granulado sobre toda la periferia del alojamiento de forma anular 40.

45 En la zona exterior del crisol de fundición 16 se extiende un intersticio 42, que se puede deducir a partir de la figura 6 y que genera un efecto capilar, que está conectado con la colada de silicio 41 a través de ranuras o taladros, de manera que la colada 41 fluye al intersticio 42 y en virtud de la acción capilar sale desde éste en el lado de la cabeza, es decir, por el borde superior y forma un menisco 44. El menisco 44 se endurece en su zona de punta superior durante el estiramiento de un tubo 46, de manera que de forma correspondiente se eleva el tubo 46 o bien las secciones endurecidas por medio de un instalación de tracción 48 en la dirección de la flecha 50. Para adaptar la cantidad del granulado 20, que debe conducirse al crisol de fundición 60, exactamente a la cantidad de la sección de

tubo estirada, la instalación de estiramiento 48 está conectada con una célula de pesaje 52, cuyos valores de medición son conducidos a un regulador 54.

5 Al dispositivo de soplado 32 se conduce el material a fundir desde un contenedor 33 a través de una instalación de dosificación 35 (figura 4). La instalación de dosificación 35 está conectada a través de una célula de pesaje 37 con el regulador 54. para que se alimente a través del dispositivo de soplado 32 al crisol de fundición 16 exactamente la cantidad de material a fundir, que es extraída desde la colada, es decir, desde el intersticio capilar 42. Esta cantidad se calcula por medio de la célula de pesaje.

10 La instalación de estiramiento 48 comprende un contenedor de gérmenes que, al comienzo del proceso de estiramiento, presenta un germen que corresponde a la geometría del tubo a estirar y que se pone en contacto con el menisco 44.

Por lo demás, el tubo 46 está rodeado por encima del crisol de fundición por un aislamiento 58 o bien un escudo de radiación 56, para poder realizar de manera controlada la refrigeración del tubo 46.

15 Para regular el proceso de estiramiento, debiendo asegurarse que el tubo 46 presenta un espesor de pared reproducible con una distribución estrecha del espesor, ajustándose al mismo tiempo el espesor de pared de tal manera que se reduce al mínimo el empleo del material como silicio, está previsto de acuerdo con la invención que la colada se pueda regular en la temperatura de forma individual en el crisol de fundición 16 en las zonas 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 adyacentes entre sí, de manera que en el caso de un tubo de geometría poligonal, cada zona corresponde a la de un lado del polígono. En cambio, si el tubo presenta una geometría circular en sección, se adaptan las zonas que deben regularse en la temperatura de forma individual a una anchura del tubo, recortando a 20 partir del tubo unas placas, para ser utilizadas, por ejemplo, como obleas para células solares a fabricar.

Para poder fabricar el espesor de pared con distribución estrecha del espesor de forma reproducible, en el menisco 44 y, en concreto, en la zona de transición entre la fase sólida y la fase líquida debe predominar la temperatura del punto de fusión del material 20, es decir, en el silicio la temperatura de 1412 °C, que debe presentar, además, una constancia, que es inferior a 2°C, en particular en el intervalo entre 0,1 °C y 2 °C.

25 De acuerdo con la invención, la regulación se realiza a través de la medición del espesor o bien del espesor de pared t del tubo 46. A tal fin, de acuerdo con la representación de la figura 1, están previstos unos interferómetros 72, 74 en el borde superior de la carcasa 12, estando asociado un interferómetro 72, 74 en cada caso a una zona 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, de la misma manera que los sensores 70, 71 para la medición de la altura h del menisco 44. Por ejemplo, si el tubo 46 presenta una geometría de dodecágono, entonces a cada uno de los 12 lados está asociado un sensor óptico 70 y 71, respectivamente, y un interferómetro 72 u 74, respectivamente. De acuerdo 30 con la figura 5, en el caso de un tubo octogonal 46 se pueden regular ocho zonas 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, que están asociadas en cada caso a una superficie 92, 94 del tubo 46.

35 Para completar, la temperatura del menisco 44 se puede medir de forma indirecta y, en concreto, en el ejemplo de realización según la figura 1 por medio de medición de la temperatura del fondo del crisol de fundición 16 por medio de pirómetros 60, 62, que atraviesan la calefacción de resistencia 22, 24, 26, 28. La regulación de la temperatura se realiza por medio del regulador 54, que está conectado a través de conexiones de corriente regulables 62, 64, 66, 68 con las calefacciones de resistencia 22, 24, 26, 28. Al regulador 54 se conducen las alturas h medidas del menisco 44 en las zonas 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 individuales, para regular sobre su base la temperatura en las zonas 40 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31. Las alturas h se miden con sensores ópticos 70, 71, En particular, como sensor se utiliza una cámara CCD con procesamiento de imágenes conectado a continuación. Si se modifican las alturas del menisco 44, entonces se modifica de manera correspondiente la temperatura del elemento calefactor 22, 24, 26, 28 y, por lo tanto, de la colada 41, para alcanzar de nuevo la altura h necesaria del menisco 44, a partir de la cual depende de nuevo directamente el espesor de pared t del tubo 46 ($h = f(t)$).

45 De acuerdo con ello, se lleva a cabo una regulación de la temperatura de la colada y, por lo tanto, de la temperatura del menisco 44 en la transición de las fases de sólido a líquido a través de la determinación de la altura h del menisco 44.

50 A partir de la figura 2 se deduce un fragmento de los elementos calefactores de resistencia, que están asociados al crisol de fundición 16. De esta manera, en la figura 2 se representan dos elementos calefactores 26, 28, de manera que cada elemento calefactor 26, 28 regula la temperatura de forma individual de una zona del crisol de fundición. En este caso, en principio, se asocia un elemento calefactor 26, 28 a un lado del tubo 46, si éste presenta una forma poligonal. Si se estira un tubo de 12 lados, entonces están previstos 12 elementos calefactores, que están conectados en un circuito de estrella de acuerdo con el esquema equivalente de la figura 3. Las conexiones exteriores 66, 68 están conectadas a continuación con el regulador 54, en cambio las conexiones interiores 69 están conectadas entre sí y se encuentran en masa.

55 La carcasa 12 está constituida en el ejemplo de realización de la figura 1 de acero y presenta una refrigeración por agua. Para detectar óptimamente el menisco, se han practicado unas ventanas 76, 78 en la carcasa 12 de acuerdo

con las zonas 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 que deben regularse en la temperatura.

5 El ejemplo de realización de la figura 4 se diferencia del mostrado en la figura 1 porque las zonas 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 que deben regularse en la temperatura a través de regulación no se calientan a través de elementos calefactores de resistencia, sino a través de una calefacción por inducción. A tal fin, la disposición 80 presenta una carcasa 82 o recipiente, que está constituido de cristal doble y que está rodeado por una bobina de inducción 84. Para calentar el crisol de fundición 16 y, por lo tanto, la colada 41 presente en este crisol 16, debajo del crisol de fundición 16 en forma de anillo está dispuesto un susceptor 86, a través del cual se genera calor. El susceptor 86 está constituido de grafito. En este caso el susceptor 86 está rodeado de manera habitual por un aislamiento 87, que se extiende a lo largo de la pared del fondo y de la pared lateral de la carcasa 82 que está constituida como doble envolvente de cristal. Por lo demás, la disposición 80 presenta una estructura de principio, que corresponde a la estructura de la figura 1.

10 Para regular la temperatura de las zonas 17, 18, 21, 23, 25, 27, 29, 31 de la colada 41 de forma diferente en la extensión deseada de acuerdo con las enseñanzas de acuerdo con la invención en un proceso de regulación, a cada zona 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 está asociado un elemento 88, 90 desplazable de material ferrítico, a través del cual se influye sobre el campo magnético de la bobina de inducción 84 de tal manera que el calentamiento deseado de la colada 41 se realiza de tal forma que el menisco 44 que sale desde el intersticio 42 presenta la temperatura deseada, es decir, en el caso de silicio la temperatura 1412 °C con alta constancia.

15 La temperatura de la colada 41 se mide de acuerdo con las formas de realización en conexión con la figura 1 de forma indirecta, y en concreto a través de la determinación de la temperatura del crisol de fundición 16. Esto se realiza de la misma manera a través de pirómetros 60, estando asociado un pirómetro 60 a cada zona 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 cuya temperatura debe regularse de forma individual. La medición de la altura h del menisco 44 o bien el espesor t del espesor de la pared del tubo 46 se realiza de la forma explicada anteriormente.

20 Con la ayuda de la figura 5 debe ilustrarse que a la bobina de inducción 84 están asociados elementos ferríticos 88, 90 regulables de acuerdo con las zonas 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 cuya temperatura debe regularse individualmente, correspondiendo el número de los elementos ferríticos 88, 90 al número de los lados 92, 94 del tubo 46. Los elementos ferríticos 88, 90 se pueden regular por medio de servo motores radialmente con respecto al tubo 46.

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para la fabricación de un tubo cristalino (46) a partir de un material como silicio a través de estiramiento del tubo desde una colada (41), que es generada por medio de la fundición del material alimentado a un crisol de fundición (16) por medio de una calefacción (22, 24, 26, 28, 84, 86), en el que la colada atraviesa un intersticio capilar (42) que predetermina la geometría del tubo y se proyecta más allá de este intersticio con un menisco (44) de una altura h , que pasa a un germen de cristal que corresponde a la geometría del tubo o bien a una zona marginal inferior de una sección estirada del tubo a fabricar, caracterizado porque la temperatura se ajusta por medio de regulación en zonas (17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31) de la colada (41) de manera independiente unas de las otras en función del espesor de pared t de la sección de tubo extraída desde la zona respectiva.
- 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque a partir de la colada se extrae un tubo poligonal (46) y a cada superficie lateral se asocia, como una zona del tubo, una zona regulable en la temperatura independientemente de las otras zonas (17, 19, 21, 23, 25, 29, 31)
- 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque cada zona (17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31) es regulada en la temperatura por medio de un elemento calefactor separado como elemento calefactor de resistencia (22, 24, 26, 28), en el que los elementos calefactores de resistencia se conectan con preferencia en un circuito de estrella o todas las zonas son reguladas en la temperatura por medio de un elemento calefactor por inducción (84), en el que a cada zona se asocia un elemento ferrítico (88, 90), que influye sobre el campo magnético del elemento calefactor por inducción, y que es regulable independientemente de los otros elementos, en particular el elemento ferrítico (88, 90) es regulado axialmente por medio de un motor accionable con relación al tubo (46).
- 4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el espesor de pared t se mide por medio de un interferómetro (72, 74).
- 5.- Procedimiento para la fabricación de un tubo (46) de silicio de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la temperatura del menisco (44) se mantiene constante en una temperatura T con $T = 1.412 \text{ }^\circ\text{C}$ sobre toda la longitud del intersticio capilar (42) con una exactitud $\leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el tubo (46) es extraído con una velocidad de estiramiento entre 10 mm/min. y 24 mm/min., con una tolerancia de 1 mm/min., en particular con una velocidad de estiramiento entre 12 mm/min. y 15 mm/min. a partir de la colada (41).
- 7.- Procedimiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, caracterizado porque la velocidad de estiramiento de la sección de tubo extraído desde la colada se regula en función de la altura h del menisco y/o en función del espesor de pared t de la sección de tubo.
- 8.- Disposición (10, 80) para la estiramiento de un tubo (46) a partir de una colada (41), que comprende un crisol de fundición (16) con un intersticio capilar (42) que predetermina la geometría del tubo y que es atravesado por la colada, cuyo intersticio puede ser excedido por la colada con un menisco (44) de una altura h , y al menos una calefacción (22, 24, 26, 28, 84, 86) asociada al crisol de fundición así como una instalación de estiramiento (48) que estira el tubo, caracterizada porque zonas (17, 19, 21, 23, 25, 27, 28, 31) adyacentes entre sí del crisol de fundición (16) y/o de la colada (41) se pueden regular en la temperatura de manera independientes entre sí por medio de una calefacción o de varias calefacciones (22, 24, 26, 28, 84) en función del espesor de pared de la zona medido por medio de primeras instalaciones de medición (72, 74) asociadas a cada zona.
- 9.- Disposición de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizada porque a cada zona (17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31) está asociado un elemento calefactor de resistencia (22, 24, 26, 28), que está constituido, por ejemplo, de grafito, en la que especialmente los elementos calefactores de resistencia (22, 24, 26, 28) están conectados en un circuito de estrella.
- 10.- Disposición de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizada porque a todas las zonas (17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31) está asociado un elemento calefactor por inducción (84) y a cada zona está asociado un elemento ferrítico (88, 90), que influye sobre el campo magnético del elemento calefactor por inducción, en la que los elementos ferríticos son regulables, independientes unos de los otros, especialmente por medio de uno o varios motores radialmente al tubo (46).
- 11.- Disposición de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizada porque a cada zona (17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31) calentable individualmente está asociada una segunda instalación de medición (70, 71), que mide la altura h del menisco (44) así como una cámara CCD con procesamiento de imágenes.
- 12.- Disposición de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizada porque la primera instalación de medición para la medición del espesor de pared t es un interferómetro (72, 74).
- 13.- Disposición de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizada porque la primera y/o la

segunda instalación de medición (70, 71, 72, 74) y las calefacción (84) que regula la temperatura de las zonas (17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31) o bien las calefacciones (22, 24, 26, 28) de regulación de la temperatura están conectadas con una regulación (54), con la que está conectada la instalación de estiramiento (48).

5 14.- Disposición de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizada porque el intersticio capilar (42) presenta una geometría poligonal y a cada lado del polígono está asociada una de las zonas (17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31).

15.- Disposición de acuerdo con al menos la reivindicación 8, caracterizada porque el fondo del crisol de fundición (16) es detectable por un pirómetro (60, 61).

10 16.- Disposición de acuerdo con al menos la reivindicación 8, caracterizada porque el crisol de fundición (16) presenta un diámetro exterior, que es entre 5 y 15 % mayor que la diagonal del tubo (46) y/o porque el intersticio capilar (42) está conectado a través de ranuras o taladros con la colada (41).

17.- Disposición de acuerdo con al menos la reivindicación 8, caracterizada porque la disposición presenta una carcasa de acero que rodea el crisol de fundición (16), con preferencia refrigerada con agua.

15 18.- Tubo (46), fabricado de acuerdo con el procedimiento según la figura 1, caracterizado porque el tubo (46) presenta una geometría de dodecágono y una periferia U con $U \geq 150$ cm, una longitud L con $L \geq 600$ cm y un espesor de pared con $100 \mu\text{m} \leq t \leq 500 \mu\text{m}$.

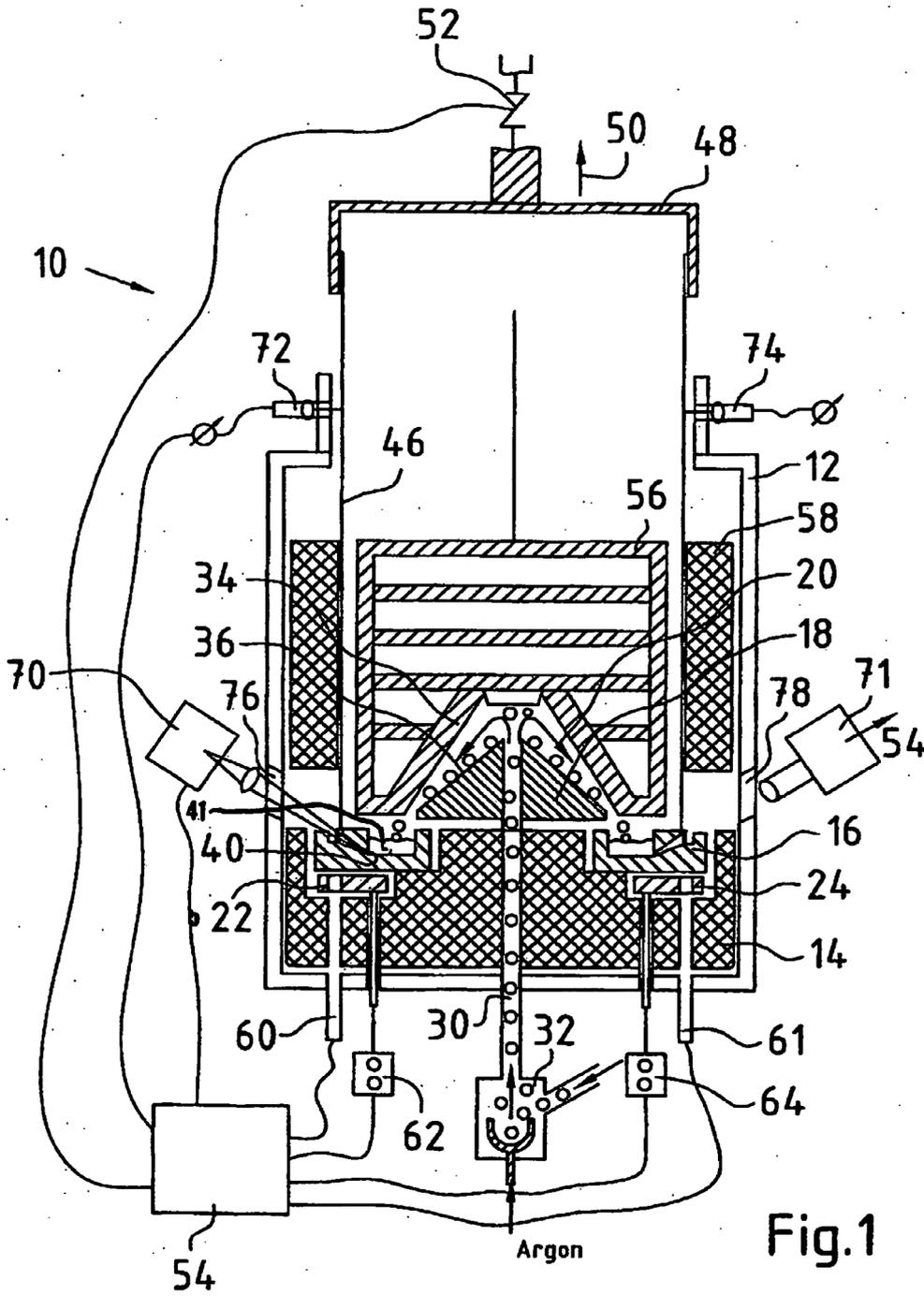


Fig.1

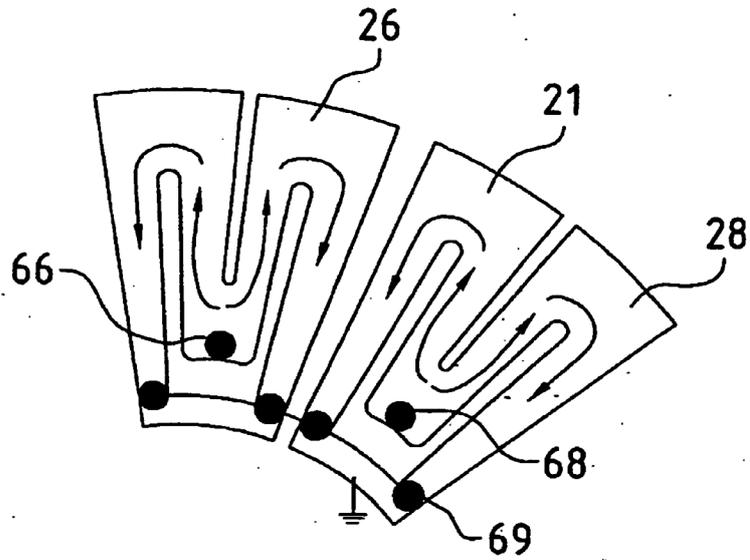


Fig.2

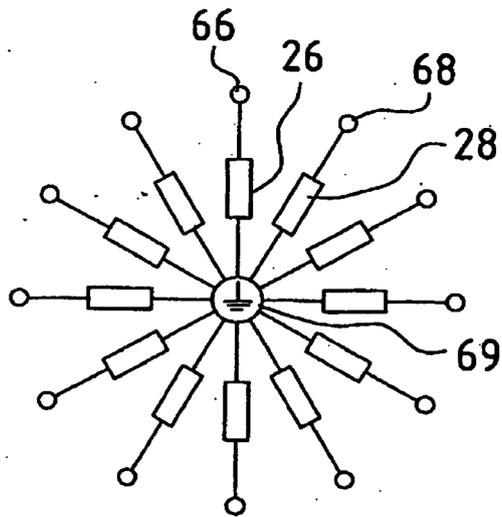


Fig.3

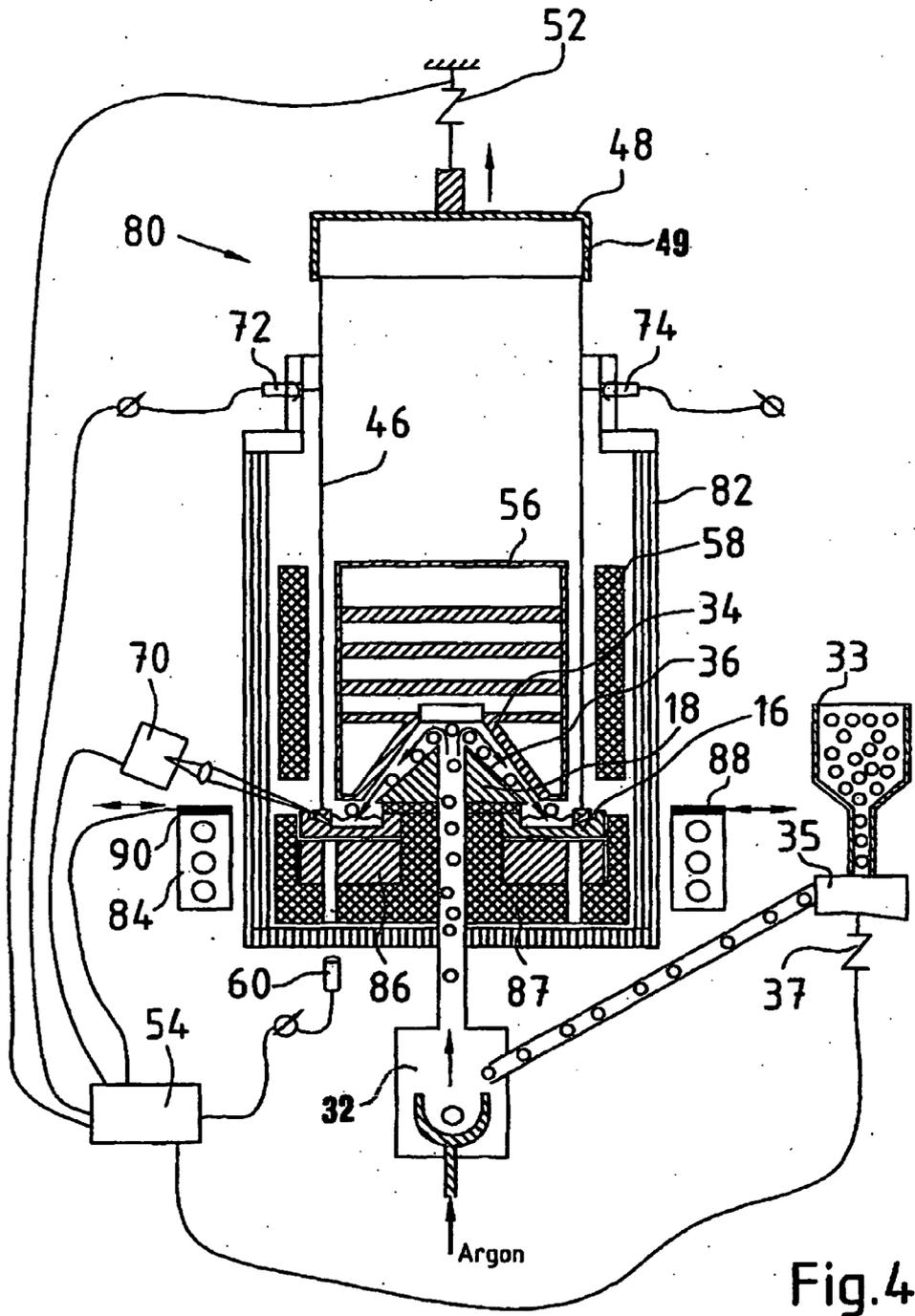


Fig.4

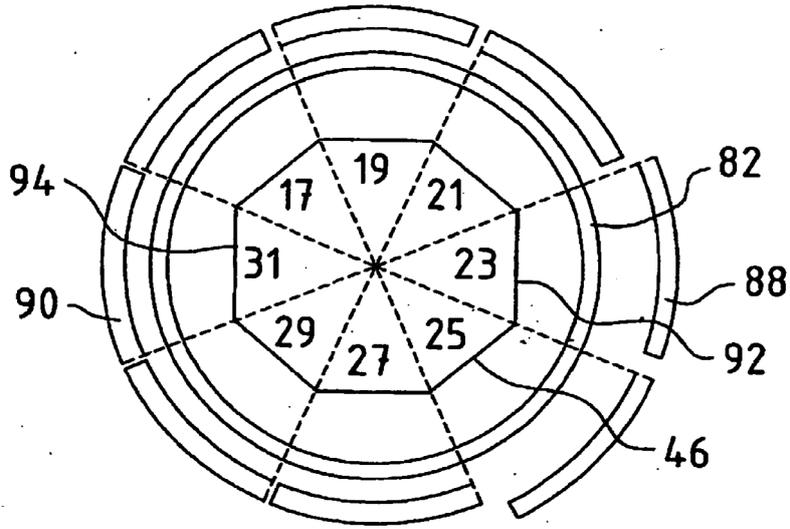


Fig.5

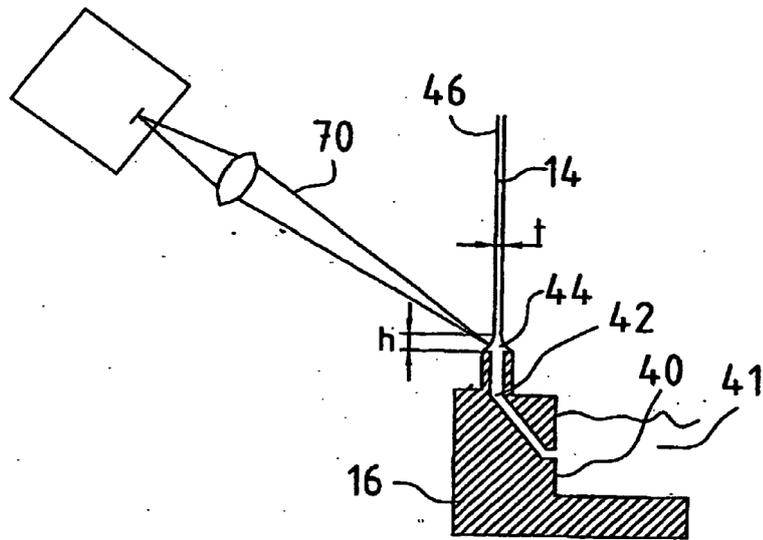


Fig.6