

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 349**

51 Int. Cl.:

**C30B 23/00** (2006.01)

**C30B 23/02** (2006.01)

**C30B 25/08** (2006.01)

**C30B 25/12** (2006.01)

**C30B 25/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2012 E 12717800 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2691562**

54 Título: **Aparato y método de crecimiento cristalino**

30 Prioridad:

**29.03.2011 GB 201105322**

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

**10.09.2015**

73 Titular/es:

**KROMEK LIMITED (100.0%)  
NetPark, Thomas Wright Way  
Sedgefield, Durham TS21 3FD, GB**

72 Inventor/es:

**ROBINSON, MARK y  
MULLINS, JOHN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 545 349 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**

Aparato y método de crecimiento cristalino

**Campo técnico**

La presente invención se refiere a un aparato para el crecimiento cristalino en fase de vapor.

**5 Antecedentes de la invención**

Los presentes solicitantes han depositado un cierto número de Solicitudes de Patente encaminadas a métodos y aparatos para el crecimiento cristalino en fase de vapor, incluyendo la WO 99/10571, la WO 2006/090104 y la WO 2008/142395.

10 Para hacer crecer un cristal por medio de técnicas de crecimiento cristalino en fase de vapor, es necesario proporcionar una fuente de aporte de los materiales a partir de los cuales se ha de formar el cristal, y un núcleo de crecimiento, o simiente, sobre el que el cristal se hace crecer a partir del material de aporte. Una zona de transporte vincula las zonas de aporte y de sumidero. Al crear una diferencia de temperaturas entre la zona de aporte y la zona de sumidero donde se ha proporcionado la simiente, se creará una diferencia de presiones de vapor entre las zonas de aporte y de sumidero, la cual actúa como fuerza impulsora del crecimiento cristalino. La temperatura de la zona de aporte deberá ser mayor que la temperatura de la zona de sumidero.

15 El control del crecimiento cristalino dependerá de diversos factores, que incluyen las temperaturas de la fuente de aporte y del sumidero y las presiones de vapor, así como el flujo de vapor sobre la simiente.

20 En los primeros sistemas de crecimiento cristalino en fase de vapor (tales como, por ejemplo, el divulgado en el documento JP 2000128699), el cristal se hacía crecer sobre un cristal seminal proporcionado dentro de la ampolla. La ampolla se suministraba al interior de un horno tubular con el fin de calentar las zonas de aporte y de sumidero. Resulta, sin embargo, muy difícil controlar el crecimiento de cristales utilizando dicho sistema.

25 Se sugirió, a fin de mejorar el sistema tubular básico, la provisión de un primer controlador de flujo entre las zonas de aporte y de simiente, en combinación con un segundo controlador de flujo situado aguas abajo de la zona de simiente para proporcionar un bombeo continuo, con el fin de extraer una cierta proporción del material de aporte de la zona de simiente. La provisión del primer controlador de flujo actúa haciendo que el caudal de transporte másico sea menos sensible al diferencial de temperaturas entre las zonas de aporte y de sumidero que en el sistema tubular básico, si bien la diferencia de temperaturas sigue siendo un factor importante.

30 En el documento WO 99/10571 se divulga un aparato en el que se han proporcionado medios de calentamiento independientes para cada una de las zonas de aporte y de sumidero. Las zonas de aporte y de sumidero, conjuntamente con los medios de calentamiento independientes, se proporcionan dentro de una cámara de vacío. Esto permite un control más preciso de las temperaturas de aporte y de sumidero, y, por tanto, de la diferencia de temperaturas entre estas zonas, a fin de hacer posible una transición de fase sólida-vapor-sólida en las zonas de aporte, de transporte y de sumidero. Sin embargo, los medios de calentamiento deben ser unos que sean capaces de funcionar en un vacío. Por lo tanto, calentadores tales como los calentadores de bobina de resistencia resultan inadecuados. Puede proporcionarse un limitador de flujo en la zona de transporte situada entre las zonas de aporte y de sumidero con el fin de proporcionar un control adicional.

35 El documento US 2008/0156255 A1 preconizó que el espacio de separación o grado de separación proporcionado entre el soporte y la cámara de crecimiento puede actuar como limitador de flujo y, por tanto, puede afectar a las propiedades del vapor y, en consecuencia, al crecimiento cristalino. Se sugirió que la función de limitación del flujo dependiera de una combinación del tamaño del espacio de separación y de su longitud, y, por tanto, que diferentes geometrías del soporte y/o de la cámara de crecimiento darían lugar a diferentes funciones del limitador de flujo y, por consiguiente, a diferentes crecimientos cristalinos. El espacio de separación existente entre el soporte y la cámara de crecimiento puede, por lo tanto, jugar un papel importante a la hora de definir las propiedades del vapor y, en consecuencia, las condiciones de crecimiento de un aparato de crecimiento cristalino. Sin embargo, puesto que el soporte ha de colocarse dentro de la cámara de crecimiento antes del crecimiento cristalino, y ha de ser extraído de la cámara de crecimiento con el cristal, tras su crecimiento, se requiere un espacio libre suficiente entre el soporte y la cámara de crecimiento para esta colocación y extracción.

**Compendio de la invención**

40 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para el crecimiento cristalino según se expone en la reivindicación 1.

Al proporcionar un soporte que tiene un coeficiente de dilatación térmica que es mayor que el de la cámara de crecimiento, cuando el aparato, incluido el soporte y la cámara de crecimiento, es calentado a las altas temperaturas requeridas para el crecimiento cristalino en fase de vapor, la dilatación relativa del soporte será mayor que la de la cámara de crecimiento. El efecto de esta dilatación relativa será la reducción del espacio de separación existente

entre la cámara de crecimiento y el soporte a temperaturas más altas, en comparación con el espacio de separación entre el soporte y la cámara de crecimiento a temperaturas inferiores. Es posible, de esta forma, proporcionar un soporte que sea suficientemente más pequeño que la cámara de crecimiento a temperaturas más bajas, por ejemplo, a la temperatura ambiental, de tal manera que exista un espacio de separación entre el exterior el soporte y el interior de la cámara de crecimiento suficiente para permitir que el soporte sea colocado dentro de la cámara de crecimiento y desplazado hasta la posición requerida con facilidad. Conforme el aparato es calentado, el soporte y la cámara de crecimiento se expandirán, cada uno de ellos. Sin embargo, puesto que el coeficiente de dilatación térmica del soporte es mayor que el coeficiente de dilatación térmica de la cámara de crecimiento, el soporte se expandirá relativamente más que la cámara de crecimiento y, por lo tanto, el espacio de separación entre la cámara de crecimiento y el soporte se reducirá. Seleccionando apropiadamente los coeficientes de dilatación térmica del soporte y de la cámara de crecimiento, el espacio de separación existente entre la cámara de crecimiento y el soporte puede ser definido de forma precisa y con exactitud para un valor de temperatura dado. Esto permite una calibración de forma precisa y con exactitud de la función de limitación de flujo del espacio de separación y, por tanto, un control exacto de las propiedades de vapor y de las condiciones de crecimiento en el interior del aparato y, en particular, dentro de la cámara de crecimiento, al tiempo que se hace posible una fácil colocación y extracción del soporte de la cámara de crecimiento a temperaturas más bajas, ambientales, con un riesgo mínimo de que el soporte impacte contra la cámara de crecimiento con la posibilidad de que la dañe o sufra daños de ella.

La presente invención permite, por lo tanto, que el soporte sea fácilmente emplazado dentro de la cámara de crecimiento a temperaturas más bajas, por ejemplo, a la temperatura de la sala, pero, a temperaturas superiores, tal como a las temperaturas de funcionamiento, el soporte puede dilatarse con respecto a la cámara de crecimiento con el fin de reducir el espacio de separación existente entre la cámara de crecimiento y el soporte, a fin de proporcionar una limitación de flujo exacta y deseada.

Preferiblemente, el soporte es móvil con respecto a la cámara de crecimiento de un modo tal, que la superficie superior del soporte y, por tanto, la superficie superior del cristal pueden ser desplazadas conforme se hace crecer el cristal. Esto permite el ajuste de la posición de la superficie superior del cristal sobre la que se está haciendo crecer material cristalino adicional, y, por tanto, puede ajustarse su posición en el perfil de temperaturas. Esto es particularmente ventajoso cuando se está formando un cristal grueso, ya que la altura del soporte puede hacerse descender gradualmente a medida que se forma el cristal, a fin de asegurarse de que la superficie superior del cristal permanece en la misma posición del perfil de temperaturas.

El soporte puede ser acoplado a, o montado en, un árbol alargado. El árbol alargado puede tener un coeficiente de dilatación térmica que es el mismo que el del soporte o el de la cámara de crecimiento, o similar a él. Alternativamente, el árbol alargado puede tener un coeficiente de dilatación térmica que no está relacionado con los coeficientes de dilatación térmica del soporte y del tubo de crecimiento. Cuando el soporte se acopla a un árbol alargado o se monta en este, el soporte puede ser movido de forma controlable mediante el acoplamiento del extremo distal, o más alejado, del árbol alargado a unos medios de accionamiento, tales como un motor.

Preferiblemente, la cámara de crecimiento y el soporte tienen, respectivamente, un área en sección transversal generalmente circular. En este caso, el espacio de separación entre la cámara de crecimiento y el soporte tendrá la forma de una cavidad anular. Cuando un material se dilata como resultado de un aumento de su temperatura, se dilata de forma generalmente uniforme en todas direcciones. Por lo tanto, si se dispone el espacio de separación de manera que tenga la forma de una cavidad anular, cuando el soporte y el tubo de crecimiento son calentados, pueden dilatarse uniformemente en todas direcciones y, por tanto, el espacio de la cavidad anular puede reducirse uniformemente. Esto garantiza que el espacio de separación que rodea el soporte es generalmente uniforme, con lo que se reduce la posibilidad de que el vapor fluya de un modo irregular dentro del cristal seminal y en torno a él. Un flujo de vapor irregular puede afectar a la calidad del cristal producido y puede tener un efecto perjudicial en sus propiedades aprovechables.

Pueden utilizarse diversos materiales para el tubo y para el pedestal o soporte. A modo de ejemplo, el tubo puede estar hecho de cuarzo (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica de  $5,5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ) o de nitruro de boro pirolítico (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica dentro de un plano de  $1,45 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Materiales adecuados para el pedestal pueden incluir el zafiro (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente  $7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), alúmina (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente  $8,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), carburo de silicio (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente  $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), tungsteno (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente  $4,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), tántalo (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente  $6,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), o molibdeno (que tiene, por lo común, un coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente  $5,7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Una combinación particularmente preferida es una cámara de cuarzo que incluye un pedestal de zafiro.

Puede haberse proporcionado un limitador de flujo en el recorrido de transporte para controlar el flujo de vapor desde la cámara de aporte hasta la cámara de crecimiento.

El aparato puede incluir una o más cámaras de crecimiento adicionales, cada una de las cuales está provista de un soporte respectivo y un cristal seminal correspondiente. En este caso, cada soporte tendrá un coeficiente de

dilatación térmica que será mayor que el coeficiente de dilatación térmica de su cámara de crecimiento respectiva. Las cámaras de crecimiento adicionales pueden estar mutua o independientemente asociadas con una o más cámaras de aporte.

5 En el caso de que el aparato incluya más de una cámara de crecimiento, cada una de ellas provista de un soporte y un cristal seminal respectivos, cada cámara de crecimiento, soporte y/o cristal seminal puede haberse dotado de cualquiera de las características que se han descrito anteriormente en relación con un aparato que tiene una sola cámara de crecimiento.

10 Las características asociadas con cada cámara de crecimiento pueden ser las mismas o diferentes que las características asociadas con las demás cámaras de crecimiento. Por ejemplo, el coeficiente de dilatación térmica de un soporte proporcionado en una de las cámaras de crecimiento puede ser diferente del coeficiente de dilatación térmica del soporte proporcionado en una o más de las otras cámaras de crecimiento. En tal caso, a temperaturas más elevadas, tales como las temperaturas de funcionamiento, el espacio de separación entre el soporte y la cámara de crecimiento podría variar de una cámara a otra. Puesto que el tamaño del espacio de separación influirá en el tamaño del cristal que se hace crecer, tal aparato puede ser utilizado para hacer crecer simultáneamente una pluralidad de cristales que tienen tamaños y propiedades diferentes unos de otros.

15 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método como el expuesto en la reivindicación 11.

20 El método puede incluir, adicionalmente, la etapa de hacer crecer un cristal sobre el soporte. El método puede también incluir la etapa de enfriar la cámara de crecimiento y el soporte una vez que se ha hecho crecer un cristal sobre el soporte, de tal manera que el soporte se contrae con respecto a la cámara de crecimiento para aumentar el espacio de separación. El método puede también incluir la etapa de extraer el soporte y el cristal que se ha hecho crecer de la cámara de crecimiento, una vez que se ha incrementado el espacio de separación.

El método anteriormente mencionado puede ser llevado a cabo utilizando un aparato de crecimiento cristalino que tenga cualquier combinación de las características anteriormente descritas.

## 25 **Breve descripción de los dibujos**

Se describirán a continuación realizaciones de la invención a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 muestra una vista en corte transversal de un aparato de crecimiento cristalino en fase de vapor;

30 La Figura 2 muestra una vista en corte transversal de un soporte que es cargado dentro de una cámara de crecimiento, de acuerdo con una primera realización de la invención;

La Figura 3 muestra una vista en corte transversal de un soporte situado dentro de una cámara de crecimiento a la temperatura de la sala, de acuerdo con una primera realización de la invención;

La Figura 4 muestra una vista en corte transversal de un soporte situado dentro de una cámara de crecimiento a la temperatura de funcionamiento, de acuerdo con una primera realización de la invención;

35 La Figura 5 muestra una vista en corte transversal de un soporte situado dentro de una cámara de crecimiento a la temperatura de funcionamiento, en el que el flujo de vapor ha causado el crecimiento del cristal seminal, de acuerdo con una primera realización de la invención;

40 La Figura 6 muestra una vista en corte transversal de un soporte que soporta un cristal que se ha hecho crecer y que está siendo extraído de una cámara de crecimiento a la temperatura de la sala, de acuerdo con una primera realización de la invención; y

Las Figuras 7A y 7B muestran, respectivamente, vistas lateral y en planta de un aparato de crecimiento cristalino de múltiples cámaras de acuerdo con una segunda realización de la presente invención.

## **Descripción detallada**

45 La Figura 1 muestra una vista en corte transversal de un aparato de crecimiento cristalino en fase de vapor. El aparato incluye una cámara de aporte 30 que se ha provisto de un material de aporte 20. Este es generalmente un material sólido que ha de ser vaporizado y, a continuación, transportado a través de un recorrido de transporte con la forma de un paso 40, a fin de hacer crecer un cristal. Un cristal seminal 60 se ha proporcionado dentro de la cámara de crecimiento 50. El cristal seminal se ha montado sobre un soporte 70 proporcionado dentro de la cámara de crecimiento 50, y se ha colocado de tal manera que un espacio de separación anular rodea el soporte 70, separándolo de la pared interior de la cámara de crecimiento 50.

50 Se ha proporcionado un calentador anular 2 para calentar una región central calentada. Se apreciará que el calentador no tiene por qué un calentador anular, sino que puede ser, por ejemplo, un calentador plano dispuesto de

forma que caliente la región calentada desde uno de los lados, o puede comprender un cierto número de elementos de calentamiento dispuestos alrededor de la región calentada. Pueden utilizarse también calentadores ópticos.

El calentador 2 calienta la región calentada para proporcionar un perfil de temperaturas predeterminado. En el ejemplo mostrado, la temperatura máxima se da hacia la parte superior de la región calentada, con una temperatura decreciente por encima y por debajo de esta región de temperatura máxima. El perfil de temperaturas es tal, que la temperatura disminuye desde la temperatura máxima con una rapidez mayor por encima de la región de temperatura máxima que por debajo de la región de temperatura máxima. En el ejemplo que se muestra en la Figura 1, el perfil de temperaturas es tal, que la región de la cámara de crecimiento puede estar a una temperatura de en torno a 490°C, la región de la cámara de aporte, a una temperatura de en torno a 710°C, y el paso, a una temperatura de en torno a 725°C.

Cuando el aparato de la Figura 1 está en funcionamiento, el material de aporte 20 será calentado de tal manera que se sublime para formar un vapor. El perfil de temperaturas del sistema hace que el vapor fluya de la cámara desde aporte 30, a través del paso 40, hasta la cámara de crecimiento 50 y sobre el cristal seminal 60.

La cámara de aporte 30, el paso 40 y la cámara de crecimiento 50 pueden ser, cada uno de ellos, de sección transversal constante, o bien pueden tener una sección transversal variable, según se requiera. En el ejemplo preferido que se muestra en la Figura 1, la cámara de aporte 30, el paso 40 y la cámara de crecimiento 50 se dan en la forma de un tubo cilíndrico con un área de sección transversal o diámetro generalmente constante. Sin embargo, el tubo puede ser, en lugar de esto, cónico, o puede tener alguna otra forma en sección transversal.

Se ha proporcionado un limitador 14 de flujo en el paso 40. El limitador 14 de flujo, que puede adoptar la forma de un tubo de transporte capilar, un disco con un pequeño orificio o un disco de cuarzo sinterizado, actúa controlando el flujo de vapor desde la cámara de aporte 16 hasta el cristal seminal 60. En este ejemplo, la cámara de aporte 30, el paso 40 y la cámara de crecimiento 50, incluyendo el material de aporte 20 y el cristal seminal 60, están encerrados dentro de una camisa de vacío 4. La camisa de vacío proporciona un entorno limpio con el que se hace crecer el cristal, a fin de ayudar a evitar la contaminación. Sin embargo, la camisa de vacío no es esencial. Alternativamente, puede proporcionarse una camisa de vacío que cubra todo el aparato, incluyendo el horno. Esto no es, sin embargo, preferido, ya que provocará retardos en el funcionamiento del sistema mientras se retira la camisa y en tanto que las temperaturas de la cámara de aporte y de la cámara de crecimiento se hacen aumentar hasta la magnitud requerida. Por otra parte, en el caso de que el calentador se haya dispuesto dentro de la camisa de vacío, existe el riesgo de contaminación del cristal desde el calentador, y también el calentador debe ser un calentador especializado, capaz de funcionar en el seno de un vacío.

La disposición de las cámaras de aporte y de crecimiento, del paso y del calentador en la Figura 1 es generalmente similar a la mostrada en el documento WO 2008/142395. Se apreciará que las otras realizaciones mostradas en el documento WO 2008/142395, así como las disposiciones mostradas en los documentos WO99/10571 y WO 2006/090104, en particular con diferentes números y posiciones relativas de cámaras de aporte y/o de cámaras de crecimiento, la provisión de diferentes números de calentadores, incluyendo calentadores independientes para cada de las cámaras de aporte y cámaras de crecimiento, y diferentes disposiciones de recorridos de transporte entre las cámaras de aporte y de crecimiento, incluyendo o excluyendo limitadores de flujo, resultan igualmente adecuadas para la presente invención.

En un ejemplo, el material de aporte 20 puede ser una fuente de aporte de telururo de cadmio que forma un cristal de telururo de cadmio sobre un cristal seminal de telururo de cadmio. Sin embargo, pueden hacerse crecer muchos otros cristales sobre cristales seminales adecuados. Ejemplos de cristales incluyen telururo de cadmio y zinc (CZT – “cadmium zinc telluride”) y telururo de cadmio y manganeso.

Si bien el material de aporte 20 se ha descrito como un sólido, el material de aporte puede ser suministrado como un vapor o como un líquido, por ejemplo, indio, que es susceptible de evaporarse.

En la disposición mostrada en la Figura 1, el soporte 70 puede estar colocado dentro de la cámara de crecimiento 50 cuando el calentador 2 no está en funcionamiento. Aquí, el aparato, y, en particular, la cámara de crecimiento 50, estarán a una temperatura más baja, por ejemplo, a la temperatura de la sala. Una vez que el soporte 70 y su cristal seminal 60 están apropiadamente emplazados, el calentador 2 puede ser activado para calentar el aparato hasta la temperatura de funcionamiento, a fin de hacer crecer un cristal. Una vez que se ha hecho crecer un cristal, el calentador 2 puede ser desconectado y el aparato, y, en particular, la cámara de crecimiento, puede ser enfriado hasta una temperatura más baja, y el soporte 70, conjuntamente con su cristal, que se ha hecho crecer, puede ser extraído del aparato. Este procedimiento puede verse mejor en las Figuras 2 a 6, que muestran una realización preferida de la presente invención.

La Figura 2 muestra una vista en corte transversal de un soporte 70 que se ha cargado dentro de una cámara de crecimiento, de acuerdo con una primera realización de la invención. En esta realización, el soporte 70 está acoplado a, o montado en, un árbol alargado 176 y soporta un cristal seminal 60. Tal como se indica por la flecha en la Figura 2, el soporte 70 se coloca dentro de la cámara de crecimiento 50. En esta realización, la cámara de crecimiento 50 es un tubo cilíndrico que tiene una pared interior 152, y el soporte 70 tiene generalmente forma de

disco. El soporte 70 y la cámara de crecimiento 50 pueden, sin embargo, tener cualquier otra geometría adecuada.

Como puede observarse en la Figura 3, una vez que el soporte 70 se ha colocado dentro de la cámara de crecimiento 50, existe un espacio de separación o hueco 190 entre el lado del soporte 70 y la pared interior 152 de la cámara de crecimiento 50. Cuando el soporte 70 tiene un área en sección transversal circular y la cámara de crecimiento 50 es cilíndrica, el espacio de separación comprendido entre el soporte 70 y las paredes interiores de la cámara de crecimiento 50 tiene un perfil anular. Esto ayuda a garantizar un flujo constante y regular de vapor sobre la simiente 60.

En la realización que se muestra en las Figuras 2 y 3, el calentador (no mostrado) del aparato no se ha activado y el aparato está a una temperatura más baja, en este caso, en torno a la temperatura de la sala. A esta temperatura, existe un espacio de separación relativamente grande 190 entre el lado del soporte 70 y la pared interior 152 de la cámara de crecimiento 50. Por lo tanto, la carga del soporte 70 dentro de la cámara de crecimiento puede conseguirse con relativa facilidad y con el mínimo riesgo de que el soporte 70 impacte contra la pared lateral 152 de la cámara de crecimiento, con la posibilidad de que la dañe o sufra daños de ella.

Como mejor se observa en las Figuras 3 y 4, una vez que el soporte 70 ha sido apropiadamente colocado dentro de la cámara de crecimiento 50, puede activarse el calentador, de tal manera que la temperatura del aparato aumentará de la temperatura ambiental (según se muestra en la Figura 3) hasta la temperatura de funcionamiento (según se muestra en la Figura 4), por ejemplo, en torno a 490°C. El soporte 70 se ha hecho de un material que tiene un coeficiente de dilatación térmica mayor que el del material del que se han hecho las paredes de la cámara de crecimiento 50. Por lo tanto, como puede observarse en la Figura 4, cuando se incrementa la temperatura del sistema, el soporte 70 se dilatará con respecto a la cámara de crecimiento 50 y, por tanto, el espacio de separación anular existente entre estos dos componentes se reducirá. Seleccionando apropiadamente los materiales y las dimensiones del soporte 70 y de la cámara de crecimiento 50, el aparato puede calibrarse de tal modo que, a la temperatura de funcionamiento, el espacio de separación entre el soporte 70 y la cámara de crecimiento 50 puede ser reducido de forma precisa para proporcionar la restricción del flujo exacta que se desea.

En un ejemplo concreto, la cámara de crecimiento está hecha de cuarzo y tiene un diámetro interior, a 293 K, de 51,500 mm. Se ha incluido un pedestal hecho de zafiro con un diámetro exterior de 51,110 mm a 273 K. Esto proporciona una cavidad anular entre el exterior del pedestal y el interior del tubo de crecimiento de 0,390 mm. Cuando el aparato se calienta a una temperatura de funcionamiento de 1.173 K, el diámetro interior del tubo de crecimiento se dilata hasta 51,525 mm, en tanto que el diámetro exterior del pedestal se dilata hasta 51,425 mm, por lo que se reduce el espacio de separación anular de 0,390 mm a 0,100 mm.

En otro ejemplo que se sirve de un tubo de cuarzo y un pedestal de zafiro, y en el que el diámetro interior del tubo es 101,400 mm a 293 K y el diámetro exterior del pedestal es 100,728 mm a 293 K, lo que da un espacio de separación anular de 0,671 mm, un incremento de la temperatura hasta 1.173 K aumenta el diámetro interior del tubo hasta 101,449 mm y aumenta el diámetro exterior del pedestal hasta 101,349 mm, lo que de nuevo reduce el espacio de separación anular a 0,100 mm.

Se observará, por lo tanto, que en ambos ejemplos existe un espacio de separación relativamente grande entre la superficie exterior del pedestal y la superficie interior del tubo a temperaturas más bajas, lo que permite una fácil colocación y extracción del pedestal del interior del tubo de crecimiento, pero, conforme la temperatura se incrementa hasta temperaturas de funcionamiento, el espacio de separación se reduce en gran medida para controlar el flujo de vapor en el punto de crecimiento.

Si bien el uso de un tubo de crecimiento de cuarzo y un pedestal de zafiro es meramente un ejemplo de los posibles materiales que pueden utilizarse en la presente invención, se ha encontrado que el uso de un pedestal de zafiro resulta particularmente ventajoso cuando se hacen crecer cristales de telururo de cadmio o de telururo de cadmio y zinc, ya que ni el vapor del telururo de cadmio ni el del telururo de cadmio y zinc se condensarán sobre el zafiro. Esto significa que el espacio de separación entre el pedestal y el tubo no se bloquea u obstruye con vapor condensado.

Cuando el aparato se encuentra a su temperatura de funcionamiento, el material de aporte 20 se sublimará para generar vapor 122. Este vapor se desplazará desde la cámara de aporte 30, a través del paso 40, hasta la cámara de crecimiento 50 como resultado del gradiente de temperatura creado por el calentador (no mostrado). Como puede observarse en la Figura 4, el vapor 122 fluirá hacia el cristal seminal 60 y comenzará a provocar el crecimiento sobre el cristal seminal 60. Esto se observa mejor en la Figura 5, la cual muestra una vista en corte transversal del soporte 70 una vez colocado dentro de la cámara de crecimiento 50, después de que el aparato haya estado a la temperatura de funcionamiento durante un periodo de tiempo tal, que se haya alcanzado un cierto crecimiento cristalino. El cristal que se hace crecer puede ser del mismo material que la simiente, o puede ser diferente. Una vez conseguido el crecimiento cristalino, el calentador puede ser desconectado, lo que permite que el aparato se enfríe de vuelta a una temperatura más baja. En algunas realizaciones, puede utilizarse también un dispositivo de enfriamiento para aumentar la velocidad a la que el aparato se enfría hasta una temperatura más baja.

A medida que se enfría el aparato, los componentes se contraerán de forma generalmente proporcional a sus

- respectivos coeficientes de dilatación térmica. Puesto que el soporte 70 tiene un coeficiente de dilatación térmica que es mayor que el de las paredes de la cámara de crecimiento 50, el soporte 70 se contraerá con respecto a las paredes de la cámara de crecimiento 50. Esto tendrá, por tanto, como resultado el incremento del espacio de separación de cavidad anular 190. Como mejor se observa en la Figura 6, cuando la temperatura del aparato se haya enfriado hasta en torno a la temperatura de la sala, el soporte 70 se habrá contraído hasta aproximadamente el mismo tamaño que tenía antes de ser insertado en el interior del tubo de crecimiento 50 (Figura 2). Esto permite, por tanto, que el soporte 70, conjuntamente con su cristal 165, que acaba de hacerse crecer, sea fácilmente extraído de la cámara de crecimiento 50, con un riesgo mínimo de que el soporte 70 impacte contra la pared lateral 152 de la cámara de crecimiento, con la posibilidad de que la dañe o sufra daños de ella.
- El cristal 165 que se ha hecho crecer puede ser entonces retirado de la superficie del soporte 70 y reemplazado por un nuevo cristal seminal 60, y el soporte 70 puede ser reinsertado en el tubo de crecimiento 50, en preparación para el crecimiento de otro cristal. Alternativamente, puede insertarse un soporte independiente, que tiene un cristal seminal, en la cámara de crecimiento 50 para hacer crecer otro cristal.
- Se apreciará que no se requiere que el soporte 70 se encuentre, necesariamente, a la temperatura de la sala o cercano a esta antes de ser insertado o extraído del tubo de crecimiento 50, y que el soporte 70 puede, en lugar de ello, estar a una temperatura por encima o por debajo de la temperatura de la sala.
- En la realización que se muestra en la Figura 5, el soporte 70 está acoplado a unos medios de accionamiento tales, que la superficie superior del soporte 70 puede ser movida conforme se hace crecer el cristal. En esta realización, los medios de accionamiento consisten en un motor 5 que está acoplado al extremo distal del árbol alargado 176. Sin embargo, los medios de accionamiento pueden ser accionados manualmente o pueden consistir en cualquier otro componente adecuado que sea capaz de causar tal movimiento, por ejemplo, un motor piezoeléctrico o un motor neumático.
- Al proporcionar un motor 5 para provocar el movimiento del soporte 70, puede ajustarse la posición de la superficie superior del cristal sobre la que se hace crecer más material cristalino, y, por tanto, puede ajustarse su posición en el perfil de temperaturas. Esto es particularmente ventajoso cuando se está formando un cristal grueso, puesto que la altura del soporte puede hacerse descender gradualmente a medida que se forma el cristal, para asegurarse de que la superficie superior del cristal permanece en la misma posición del perfil de temperaturas.
- Como se ha hecho apreciar anteriormente, otras disposiciones cámaras o tubos de aporte y/o de crecimiento, incluida la provisión de múltiples cámaras de aporte y/o cámaras de crecimiento, pueden ser utilizadas con el soporte para la cámara de crecimiento, o para cada una de ellas, que tiene un coeficiente de dilatación térmica más grande que el de la respectiva cámara de crecimiento. En la realización alternativa que se ha mostrado en la Figura 7, el aparato incluye cámaras de crecimiento adicionales, cada una de las cuales está provista de un respectivo soporte y su cristal seminal correspondiente (no mostrados). En esta realización concreta, el aparato incluye tres cámaras de crecimiento adicionales 50B, 50C, 50D, separadas de forma lateralmente descentrada con respecto a la cámara de aporte 30', de lo que resulta un total de cuatro cámaras de crecimiento 50A, 50B, 50C, 50D que rodean la cámara de aporte 30'. Puede proporcionarse, sin embargo, cualquier número adecuado de cámaras de crecimiento adicionales en cualquier disposición adecuada. Por ejemplo, las cámaras de crecimiento adicionales pueden colocarse en línea con la cámara de aporte.
- En esta realización, las cámaras de crecimiento 50A, 50B, 50C, 50D están mutuamente asociadas con una única cámara de aporte 30 que está emplazada centralmente con respecto a las cuatro cámaras de crecimiento 50A, 50B, 50C, 50D circundantes. Cada cámara de crecimiento está acoplada a la cámara de aporte a través de sus respectivos pasos 40A, 40B, 40C, 40D, cada uno de los cuales incluye un limitador de flujo.
- Los soportes 70' tienen un coeficiente de dilatación térmica que es más grande que el coeficiente de dilatación térmica de sus respectivas cámaras de crecimiento 50A, 50B, 50C, 50D, y pueden, en consecuencia, ser insertados y extraídos de sus cámaras de crecimiento de acuerdo con el método descrito en relación con las Figuras 2 a 6. En el caso de que las propiedades de las cámaras de crecimiento 50A, 50B, 50C, 50D y de sus soportes sean las mismas, el aparato de la Figura 7 puede ser utilizado para hacer crecer simultáneamente una pluralidad de cristales idénticos o casi idénticos. Esto es ventajoso si se desea la producción a gran escala de cristales idénticos o casi idénticos.
- Alternativamente, el aparato de la Figura 7 puede ser utilizado para hacer crecer simultáneamente una pluralidad de cristales que tienen diferentes propiedades, tales como un tamaño, composición y/o calidad diferentes. Esto puede conseguirse proporcionando diferentes condiciones de crecimiento en cada una de las cámaras de crecimiento 50A, 50B, 50C, 50D y en sus pasos correspondientes 40A, 40B, 40C, 40D, tales como diferentes perfiles de temperatura, diferentes cristales seminales y/o diferentes disposiciones de limitador de flujo aguas arriba. Esto puede conseguirse también, sin embargo, disponiendo que el coeficiente de dilatación térmica de un soporte dispuesto en una de las cámaras de crecimiento sea diferente del coeficiente de dilatación térmica de un soporte proporcionado en otra cámara de crecimiento. Aquí, el espacio de separación proporcionado entre los soportes y sus respectivas cámaras de crecimiento puede variar de una cámara a otra. Como se ha descrito anteriormente, la geometría del espacio de separación proporcionado afectará a las propiedades del flujo del vapor, y, por tanto, diferentes geometrías del

espacio de separación tendrán como resultado un flujo de vapor diferente en cada cámara y, por tanto, que se hagan crecer cristales diferentes en cada cámara.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un aparato para el crecimiento cristalino, de manera que el aparato comprende:  
una cámara de aporte (30), configurada para contener un material de aporte (20);  
una cámara de crecimiento (50);  
5 un paso (40) para el transporte de vapor desde la cámara de aporte (30) hasta la cámara de crecimiento (50);  
un soporte (70), dispuesto dentro de la cámara de crecimiento y configurado para soportar un cristal seminal (60); y  
un espacio de separación (190), definido entre la cámara de crecimiento (50) y el soporte (70);  
de tal modo que el coeficiente de dilatación térmica del soporte (70) es mayor que el coeficiente de dilatación  
10 térmica de la cámara de crecimiento, y de forma que los materiales y dimensiones del soporte y de la cámara de  
crecimiento se han seleccionado para que el espacio de separación (190) entre el soporte y la cámara de  
crecimiento esté definido para una temperatura de funcionamiento, a fin de proporcionar una función de limitación de  
flujo a esa temperatura de funcionamiento.
- 2.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el soporte (70) es movable con respecto a la cámara de  
15 crecimiento (50) de manera tal, que la superficie superior del soporte y, por tanto, la superficie superior del cristal  
pueden ser movidas a medida que se hace crecer el cristal.
- 3.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual el soporte (70) está acoplado a un árbol alargado (176)  
o está montado en este.
- 4.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual el árbol alargado (176) tiene un coeficiente de  
20 dilatación térmica que es el mismo o similar que el del soporte (70) o el de la cámara de crecimiento (50).
- 5.- Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la cámara de  
crecimiento (50) y el soporte (70) tienen, respectivamente, un área en sección transversal generalmente circular.
- 6.- Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la cámara de  
crecimiento (50) está hecha de cuarzo o de nitruro de boro pirolítico.
- 7.- Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el soporte (70) está  
25 hecho de zafiro, alúmina, carburo de silicio, tungsteno, tántalo o molibdeno.
- 8.- Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la cámara de  
crecimiento (50) está hecha de cuarzo y el soporte (70) está hecho de zafiro.
- 9.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el cual la cámara de crecimiento (50) tiene un diámetro  
30 interior de en torno a 51,500 mm a 293 K, y el soporte tiene un diámetro exterior de en torno a 51,110 mm a 293 K.
- 10.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el cual la cámara de crecimiento (50) tiene un diámetro  
interior de en torno a 101,400 mm a 293 K, y el soporte tiene un diámetro exterior de en torno a 100,728 mm a 293  
K.
- 11.- Un método para proporcionar un aparato para hacer crecer un cristal, de tal manera que el método comprende  
35 las etapas de:  
proporcionar una cámara de crecimiento (50) que tiene un cierto coeficiente de dilatación térmica;  
proporcionar un soporte (70) configurado para soportar un cristal seminal (60), de tal manera que el soporte  
tiene un coeficiente de dilatación térmica mayor que el coeficiente de dilatación térmica de la cámara de  
crecimiento;
- 40 calentar la cámara de crecimiento (50) y el soporte (70) hasta una temperatura de funcionamiento tal, que el  
aparato se dilata con respecto a la cámara de crecimiento para reducir el espacio de separación; y  
seleccionar los materiales y las dimensiones del soporte y de la cámara de crecimiento de un modo tal, que el  
espacio de separación (190) entre el soporte y la cámara de crecimiento está definido para una temperatura de  
funcionamiento, a fin de proporcionar una función de limitación de flujo a esa temperatura de funcionamiento.
- 45 12.- El método de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende adicionalmente hacer crecer un cristal sobre el  
soporte.
- 13.- El método de acuerdo con la reivindicación 11 o la reivindicación 12, que comprende adicionalmente enfriar la

cámara de crecimiento y el soporte una vez que se ha hecho crecer un cristal sobre el soporte, de tal manera que el soporte (70) se contrae con respecto a la cámara de crecimiento (50) para aumentar el espacio de separación (190).

FIGURA 2

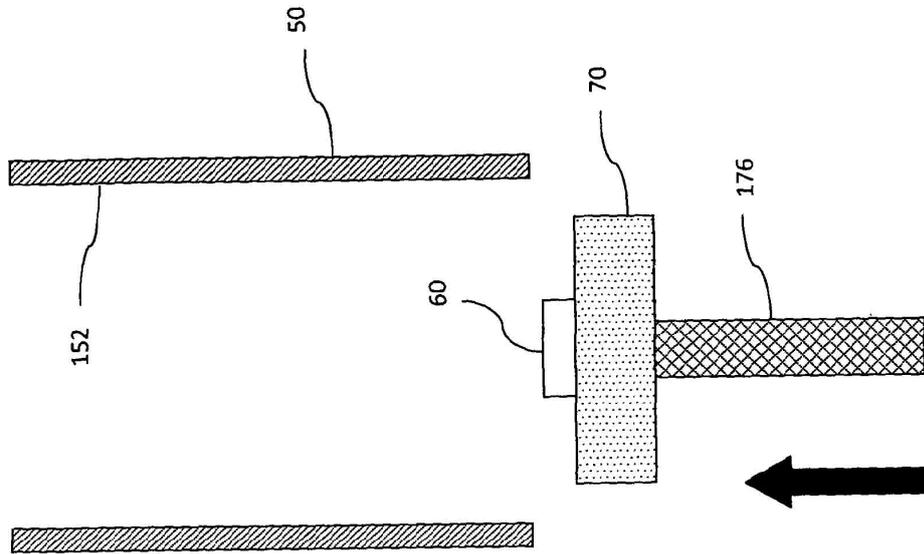
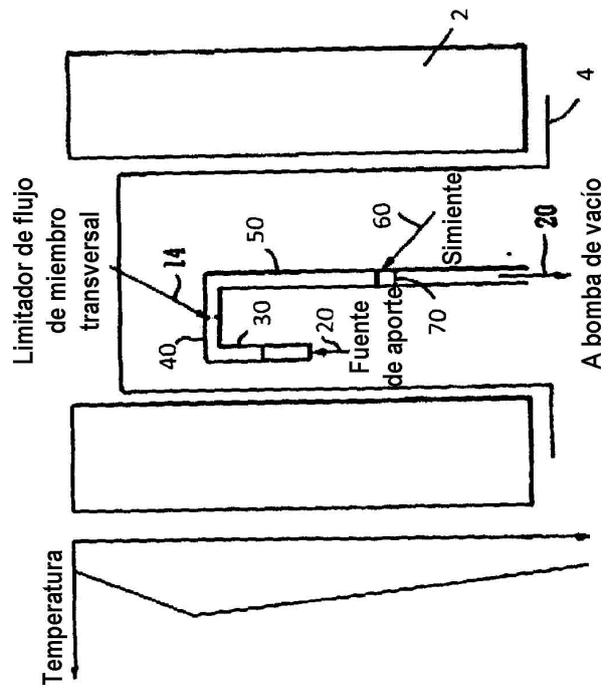


FIGURA 1



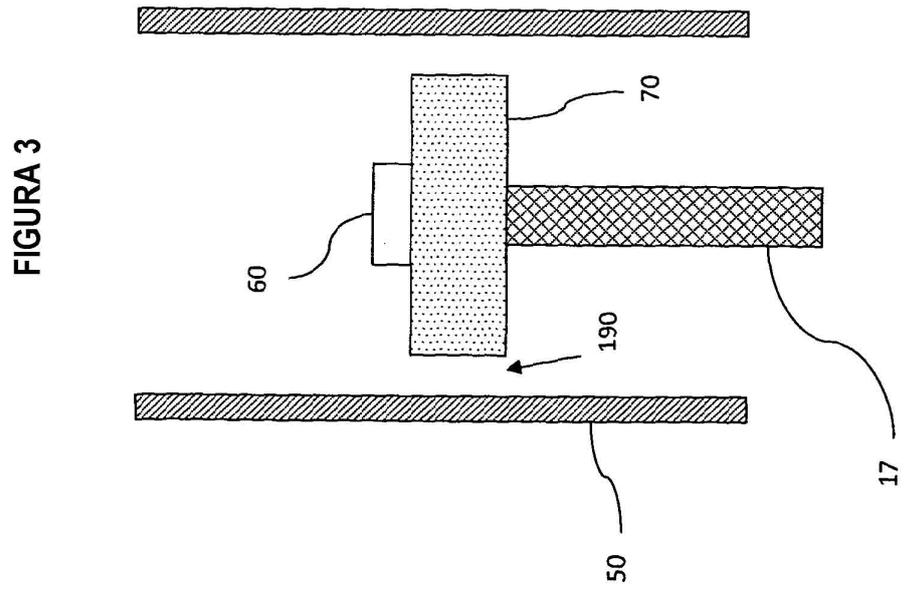
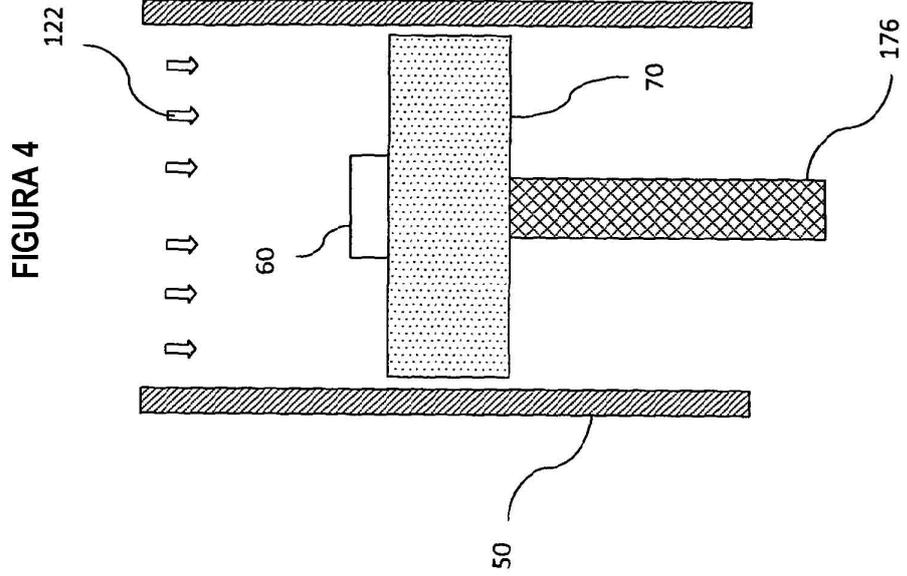


FIGURA 6

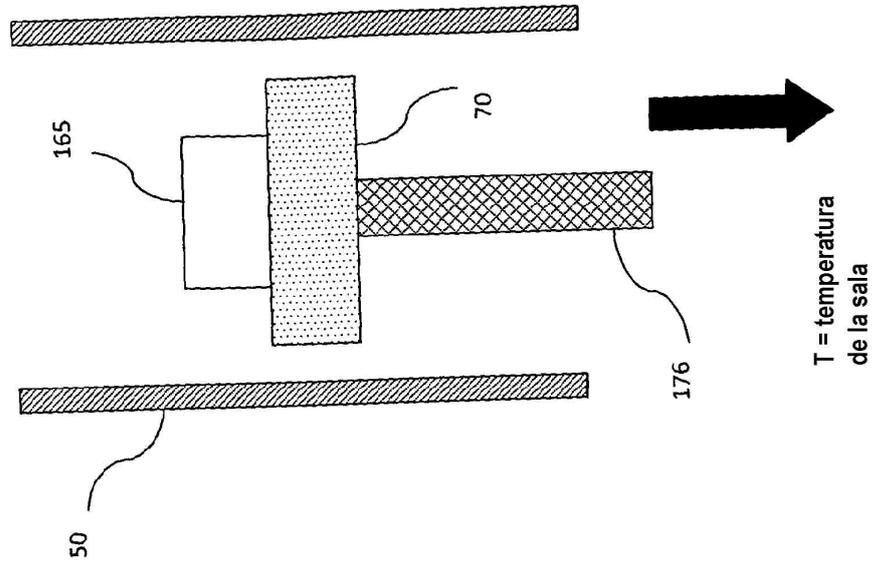
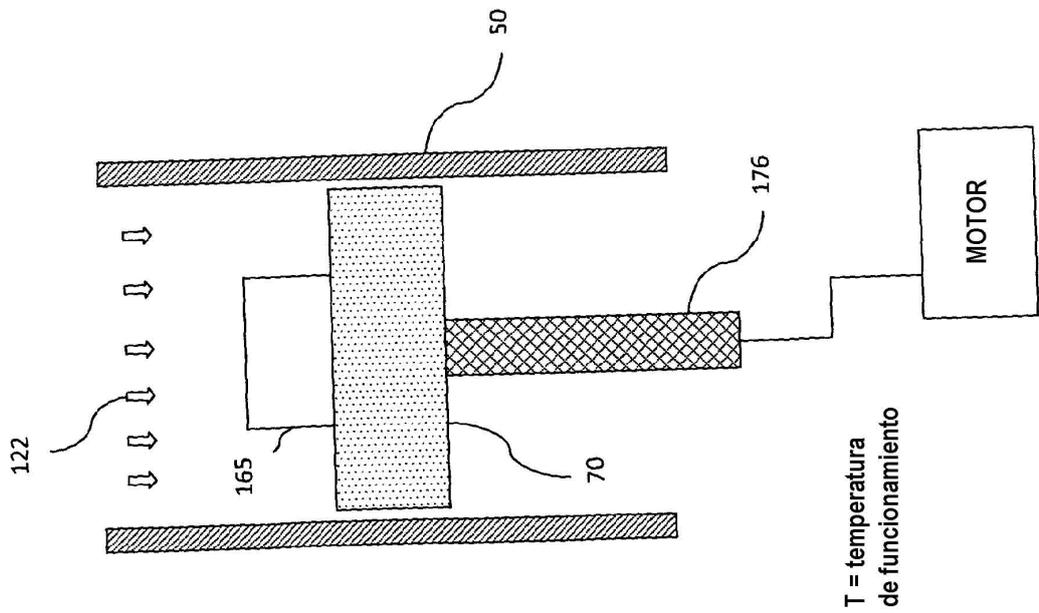


FIGURA 5



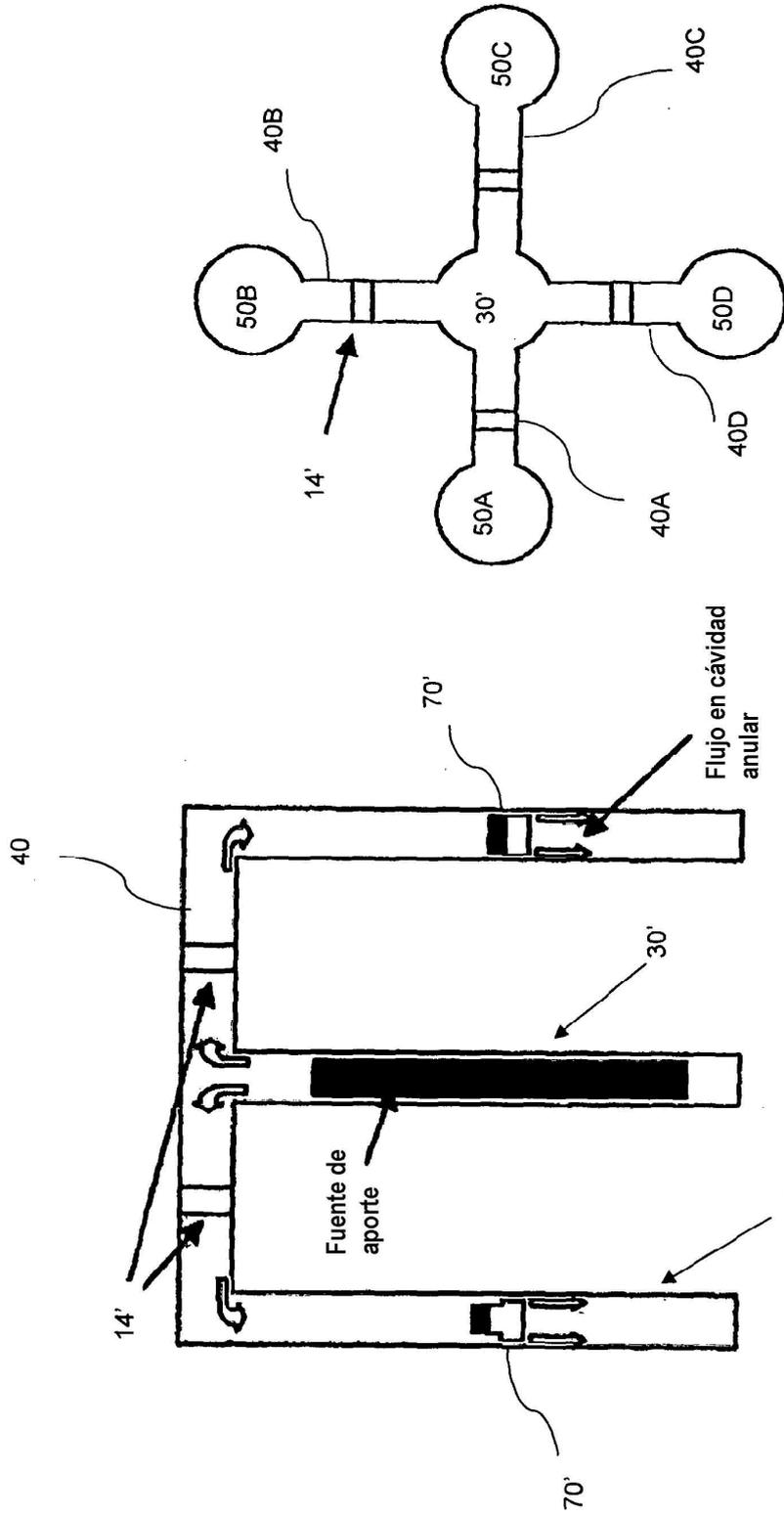


FIGURA 7B

FIGURA 7A