

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 460**

51 Int. Cl.:
C30B 29/40

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09305569 .7**

96 Fecha de presentación: **18.06.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2264224**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.12.2010**

54 Título: **Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato y procedimiento de regeneración para un aparato de este tipo**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.07.2012

73 Titular/es:
Riber
31 rue Casimir Périer
95870 Bezons, FR

72 Inventor/es:
Villette, Jérôme;
Chaix, Catherine y
Cassagne, Valerick

74 Agente/Representante:
Curell Aguilá, Mireia

ES 2 385 460 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 para depositar una película delgada de material sobre un sustrato y procedimiento de regeneración para un aparato de este tipo

La presente invención se refiere a un aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato, y a un procedimiento de regeneración para un aparato de este tipo.

En particular, la presente invención se refiere a un aparato como un sistema de epitaxia por haces moleculares.

El semiconductor de nitruro de galio (GaN) epitaxial ha demostrado presentar propiedades semiconductoras muy interesantes para aplicaciones de alta potencia y alta frecuencia tales como LED de alta luminiscencia o transistores de radiofrecuencia.

La epitaxia de capas delgadas de GaN puede realizarse mediante dos técnicas principales, concretamente epitaxia por haces moleculares (MBE) y deposición química en fase de vapor de compuestos organometálicos (MOCVD).

En el caso de la técnica de epitaxia por haces moleculares, un elemento, galio por ejemplo, se evapora de un metal fundido en una célula de efusión y el elemento nitrógeno puede suministrarse mediante nitrógeno molecular dividido mediante una fuente de plasma o de amoníaco en estado gaseoso a partir de un inyector de gas que se descompone químicamente en la superficie del sustrato mediante activación térmica. Una técnica y un aparato de este tipo se dan a conocer en el documento EP 2060662.

Un dispositivo de epitaxia por haces moleculares comprende normalmente un compartimento de carga en el que se introduce un sustrato que va a recubrirse, un compartimento en el que el sustrato se deshidrata, un compartimento en el que se realiza una operación de desoxigenación del sustrato, una cámara de crecimiento y medios de atrapado que bombean los elementos gaseosos fuera de la cámara de crecimiento. Por "medios de atrapado" se quiere decir una o más bombas activas asociados con uno o más paneles criogénicos.

El sustrato, silicio por ejemplo, se introduce en la cámara de crecimiento en la que se realiza un vacío de aproximadamente 10^{-8} Pascal. El sustrato se calienta a una temperatura de entre aproximadamente 300°C y 1100°C. Entonces, se inyecta el precursor gaseoso como amoníaco en la cámara de crecimiento y los átomos o moléculas de elementos o compuestos en la célula de efusión se calientan hasta evaporarse. El amoníaco gaseoso reacciona con los átomos o moléculas evaporados de elementos o compuestos en la superficie del sustrato para formar una capa epitaxial de GaN, por ejemplo.

Una parte del precursor gaseoso que no se divide durante el proceso de crecimiento queda atrapado en un panel criogénico que cubre la superficie interna de la pared lateral de la cámara de crecimiento y que rodea la zona de proceso, por ejemplo.

La cantidad de precursor congelado sobre el panel criogénico aumenta con el número de series del proceso lo que induce un aumento extra de la presión parcial del precursor en el sistema. Adicionalmente, este hielo de precursor puede atascar o alterar componentes del sistema tales como partes móviles, robots e indicadores.

Para evitar estos problemas, es entonces necesario regenerar los paneles criogénicos.

El precursor congelado se vuelve a evaporar calentando los paneles criogénicos. Esto puede realizarse simplemente limitando o apagando la fuente criogénica, reduciendo o deteniendo por tanto la circulación de nitrógeno líquido en los paneles criogénicos.

Al calentar los paneles a la temperatura del entorno, el precursor sublima y el precursor gaseoso se bombea fuera de la cámara de crecimiento mediante los medios de atrapado.

Sin embargo, la presión parcial del precursor gaseoso aumenta exponencialmente con la subida de temperatura. La presión parcial del precursor gaseoso es alta si el flujo desorbido del precursor gaseoso es alto en comparación con la capacidad de bombeo de los medios de atrapado. Si la capacidad de bombeo de los medios de atrapado no es eficiente, la presión parcial del precursor gaseoso aumenta exponencialmente hasta un máximo de presión.

La alta presión del precursor gaseoso durante el procedimiento de regeneración puede dañar los calentadores de las células de efusión y del soporte de sustrato y también reaccionar con materiales fuente calientes como el galio o el aluminio utilizados en la estructura del dispositivo de semiconductor, y en general todos los elementos que pueden ser sensibles a la nitruración.

Enfriar las fuentes de material evitaría la reacción activada térmicamente, pero estas fuentes normalmente no pueden apagarse durante el procedimiento de regeneración por razones de expansión térmica diferencial como

ocurre normalmente para la fuente de aluminio, o para evitar una contaminación o polución de una superficie de fuente fría, o porque pueden ser las fuentes de calor para calentar el sistema.

Además, cuando la presión parcial del precursor gaseoso aumenta exponencialmente hasta alta presión, podría ser peligroso para el operario manipular el sistema de epitaxia por haces moleculares.

Un objetivo la presente invención es proporcionar un aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato en el que se controla la presión parcial del precursor gaseoso durante la regeneración de los paneles criogénicos de la cámara de vacío.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de regeneración que permite evacuar el precursor gaseoso inicialmente atrapado sobre los paneles criogénicos de la cámara de vacío, fuera de dicha cámara de vacío, y de una manera controlada y automática.

Es posible no superar un límite dado de presión o presión determinada para evitar la saturación de los medios de atrapado y para nitrurar componentes calientes como la célula de efusión o materiales calientes, por ejemplo. Se evita el aumento brusco de presión del precursor gaseoso.

Con este fin, la invención se refiere a un aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato que comprende:

- una cámara de vacío,
- un portamuestras dispuesto dentro de dicha cámara de vacío, pudiendo soportar dicho portamuestras dicho sustrato,
- un inyector de gas que puede inyectar un precursor gaseoso al interior de la cámara de vacío, pudiendo reaccionar una parte de dicho precursor gaseoso en la superficie del sustrato,
- por lo menos un panel criogénico colocado dentro de la cámara de vacío y que puede adsorber una parte de dicho precursor gaseoso que no ha reaccionado en la superficie del sustrato, y liberar dicho precursor gaseoso adsorbido,
- unos primeros medios de atrapado conectados a dicha cámara de vacío y que pueden atrapar una parte de dicho precursor gaseoso liberado por dicho panel criogénico, presentando dichos primeros medios de atrapado una capacidad de bombeo fija S_1 .

Según la invención, el aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato comprende:

- unos segundos medios de atrapado que pueden atrapar otra parte de dicho precursor gaseoso liberado por dicho panel criogénico y que presentan una capacidad de bombeo variable S_2 que puede regularse en función de la presión parcial del precursor gaseoso,
- proporcionando dichos medios de atrapado primeros y segundos una capacidad de bombeo total $S = S_1 + S_2$ suficiente para mantener la presión parcial del precursor gaseoso en la cámara de vacío a una presión determinada P_L .

La invención permite controlar la presión parcial del precursor gaseoso en el vacío.

Según diversas realizaciones, la presente invención también se refiere a las características siguientes, consideradas individualmente o en todas sus combinaciones técnicas posibles:

- dichos segundos medios de atrapado comprenden:
 - o por lo menos un elemento criogénico de regulación colocado dentro de dicha cámara de vacío, pudiendo suministrarse dicho elemento criogénico de regulación mediante un fluido criogénico,
 - o un manómetro que puede medir la presión parcial del precursor gaseoso dentro de la cámara de vacío, generando una presión medida P_M ,
 - o una válvula que puede ajustar el flujo de fluido criogénico al interior de dicho elemento criogénico de regulación, y
 - o una unidad de control que puede recibir dicha presión medida P_M y comparar ésta con la presión determinada P_L , si la presión medida P_M es diferente de la presión determinada P_L , pudiendo ordenar dicha

unidad de control a dicha válvula que ajuste el flujo de fluido criogénico en dicho elemento criogénico de regulación, de manera que la presión medida P_M alcanza la presión determinada P_L ,

- dicho elemento criogénico de regulación es un elemento criogénico adicional,
- dicho elemento criogénico adicional se coloca en la parte inferior de la cámara de vacío.

Esta posición tiene interés en atrapar el amoniaco acumulado sobre la parte inferior del panel criogénico durante su regeneración.

- dicho elemento criogénico de regulación consiste en dicho por lo menos un panel criogénico colocado dentro de la cámara de vacío,
- dicho portamuestras está rodeado por un panel criogénico secundario, consistiendo dicho elemento criogénico de regulación en dicho panel criogénico secundario,
- dichos primeros medios de atrapado comprenden un conducto de bombeo que presenta una pared, estando conectado dicho conducto de bombeo a un dispositivo de bombeo mediante un primer extremo y emergiendo al interior de la cámara de crecimiento mediante un segundo extremo, y estando cubierta la superficie interna de pared de dicho conducto de bombeo por un panel criogénico,
- dichos primeros medios de atrapado comprenden medios de cierre que pueden aislar el volumen del conducto de bombeo de dichos primeros medios de atrapado del volumen de la cámara de vacío,
- el aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato consiste en un sistema de epitaxia por haces moleculares para producir obleas de material semiconductor que comprenden un sustrato, siendo dicha cámara de vacío una cámara de crecimiento que incluye además una pared lateral que presenta una superficie interna, un panel criogénico que cubre la superficie interna de dicha pared lateral, comprendiendo dicho aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato por lo menos una célula de efusión que puede evaporar dichos átomos o moléculas de elementos o compuestos, pudiendo reaccionar una parte de dicho precursor gaseoso con los átomos o moléculas evaporados de elementos o compuestos sobre la superficie del sustrato para formar la capa de compuesto semiconductor o aislante.

La invención también se refiere a un procedimiento de regeneración para los paneles criogénicos de un aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato tal como se describió anteriormente, comprendiendo además dicho procedimiento de regeneración las siguientes etapas sucesivas:

a) evacuar el precursor fuera de la cámara de vacío, incluyendo dicha etapa a) las operaciones siguientes:

- calentar por lo menos un panel criogénico situado dentro de la cámara de vacío produciendo la desorción del precursor gaseoso adsorbido inicialmente sobre dicho panel criogénico,
- atrapar por lo menos una parte de dicho precursor gaseoso desorbido mediante los primeros medios de atrapado que presentan una capacidad de bombeo fija S_1 , atrapándose una parte de dicha parte del precursor gaseoso desorbido sobre el panel criogénico de dichos primeros medios de atrapado,

b) regenerar el panel criogénico de dichos primeros medios de atrapado, incluyendo dicha etapa b) las operaciones de:

- aislar dichos primeros medios de atrapado de la cámara de vacío,
- calentar dicho panel criogénico de los primeros medios de atrapado produciendo la desorción del precursor gaseoso atrapado desde el panel criogénico, y
- bombear dicho precursor gaseoso desorbido mediante una o más bombas para alcanzar un alto vacío.

Según la invención, el procedimiento de regeneración comprende, durante la etapa a):

- una operación de atrapado complementaria, mediante los segundos medios de atrapado, de otra parte de dicho precursor gaseoso liberado por dicho panel criogénico, presentando dichos segundos medios de atrapado una capacidad de bombeo variable S_2 que puede regularse en función de la presión parcial del precursor gaseoso,
- proporcionando dichas operaciones de atrapado una capacidad de bombeo total $S = S_1 + S_2$ suficiente para mantener la presión parcial del precursor gaseoso en la cámara de vacío a una presión determinada P_L .

Según diversas realizaciones, la presente invención también se refiere a las características siguientes, consideradas individualmente o en todas sus combinaciones técnicas posibles:

- la operación de atrapado complementaria comprende las etapas siguientes:
 - o medir la presión parcial del precursor gaseoso dentro de dicha cámara de vacío, generando una presión medida P_M ,
 - o comparar la presión medida P_M con la presión determinada P_L y si la presión medida P_M es diferente de la presión determinada P_L , se ajusta la capacidad de bombeo S_2 de un elemento criogénico de regulación situado dentro de dicha cámara de vacío, de manera que la presión medida P_M alcanza la presión determinada P_L ,
- la capacidad de bombeo S_2 de dicho elemento criogénico de regulación se ajusta variando el flujo de fluido criogénico en dicho elemento criogénico de regulación,
- el precursor gaseoso es amoníaco gaseoso, siendo la presión determinada P_L de entre 10^{-2} y 10^{-1} Pascal.

La descripción de la invención se ilustra mediante los siguientes dibujos en los que:

- la figura 1 representa un sistema de epitaxia por haces moleculares que comprende unos segundos medios de atrapado según una primera forma de realización de la invención;
- la figura 2 representa un sistema de epitaxia por haces moleculares que comprende unos segundos medios de atrapado según una segunda forma de realización de la invención;
- la figura 3 representa la evolución de la presión parcial del precursor gaseoso en función del tiempo, con y sin segundos medios de atrapado;
- la figura 4 representa un sistema de epitaxia por haces moleculares que comprende unos segundos medios de atrapado según una tercera forma de realización de la invención.

La figura 1 representa un sistema de epitaxia por haces moleculares que comprende unos segundos medios de atrapado según una primera realización de la invención.

Las figuras 1, 2 y 4 representan un sistema de epitaxia por haces moleculares como un ejemplo de aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato. La invención no se limita a un sistema de epitaxia por haces moleculares y puede aplicarse a otro aparato para depositar una película delgada de material sobre sustratos, como el sistema CVD, por ejemplo.

El sistema de epitaxia por haces moleculares puede producir obleas de material semiconductor que comprenden un sustrato cubierto por una capa de compuesto semiconductor o aislante.

El sistema de epitaxia por haces moleculares de la figura 1 comprende además una cámara 1 de crecimiento o cámara de vacío que rodea una zona 2 de proceso. La cámara 1 de crecimiento comprende una pared lateral 3, una pared inferior 4 y una pared superior 5. Cada una de estas paredes presenta una superficie interna. Las paredes de la cámara de crecimiento 3, 4, 5 forman un conjunto unitario que presenta la forma general de un cilindro.

El sistema de epitaxia por haces moleculares comprende por lo menos un panel criogénico 10. En el ejemplo de la figura 1, el sistema de epitaxia por haces moleculares comprende un panel criogénico 10 que cubre la superficie interna de la pared lateral 3. Por "cubrir" se quiere decir el hecho de que el panel criogénico 10 se dispone a lo largo de esta superficie interna de la pared lateral 3 sin entrar en contacto con esta última.

Este panel criogénico 10 puede enfriarse con un fluido criogénico como el nitrógeno líquido, glicol u otro. Preferentemente, el panel criogénico 10 presenta una forma cilíndrica.

El sistema de epitaxia por haces moleculares comprende un portamuestras 6 rodeado eventualmente por un panel criogénico secundario 7 que presenta preferentemente una forma cilíndrica. El portamuestras 6 se coloca en la parte superior de la cámara 1 de crecimiento y está destinado a soportar un sustrato.

El sustrato puede ser moldes de silicio, carburo de silicio, zafiro, nitruro de aluminio, diamante, nitruro de galio, por ejemplo.

El sistema de epitaxia por haces moleculares comprende por lo menos una célula 8 de efusión que puede evaporar átomos o moléculas de elementos o compuestos, y un inyector 9 de gas que puede inyectar un precursor gaseoso

en el interior de la cámara 1 de crecimiento. La célula 8 de efusión y el inyector 9 de gas están colocados en la parte inferior de la cámara 1 de crecimiento.

5 Los átomos o moléculas de elementos o compuestos que van a evaporarse pueden ser un metal del grupo III y el elemento que va a inyectarse puede ser un elemento del grupo V, por ejemplo.

10 Preferentemente, el sistema de epitaxia por haces moleculares se utiliza para obtener una capa epitaxial de GaN en la superficie de un sustrato de silicio, siendo el elemento del grupo III galio y comprendiendo el precursor gaseoso un elemento del grupo V que es el amoníaco (NH_3).

El sistema de epitaxia por haces moleculares comprende primeros medios de atrapado 11 conectados a la cámara 1 de crecimiento y que pueden proporcionar capacidad de alto vacío.

15 Los primeros medios de atrapado 11 pueden comprender un conducto 30 de bombeo que presenta una pared. El conducto 30 de bombeo está conectado a un dispositivo 21 de bombeo mediante un primer extremo 12 y emerge al interior de la cámara 1 de crecimiento mediante un segundo extremo 13.

20 El panel criogénico 10 está dotado de un orificio 22 colocado delante del segundo extremo 13 de los primeros medios de atrapado 11.

Los primeros medios de atrapado 11 comprenden un panel criogénico 17 que cubre la superficie interna de pared del conducto 30 de bombeo. El panel criogénico 17 se enfría con un fluido criogénico como el nitrógeno líquido o el glicol, por ejemplo.

25 Por "cubrir" se quiere decir el hecho de que el panel criogénico 17 se dispone a lo largo de la superficie interna de pared del conducto 30 de bombeo sin entrar en contacto con esta última.

30 El dispositivo 21 de bombeo puede comprender una bomba de alto vacío asociada con una bomba de bajo vacío (no representada). Comprende medios de conmutador que permiten cambiar entre la bomba de alto vacío y la bomba de bajo vacío.

35 A alta presión, se utiliza la bomba de bajo vacío que es más eficiente. Cuando la presión es lo suficientemente baja, se utiliza la bomba de alto vacío. La bomba de bajo vacío puede ser una bomba de tipo Roots y la bomba de alto vacío puede ser una bomba turbomolecular, por ejemplo.

40 Durante el proceso de crecimiento, los primeros medios de atrapado 11 pueden bombear los elementos gaseosos que no se han bombeado por el panel criogénico 10. El panel criogénico 10 asociado con los primeros medios de atrapado 11 puede proporcionar capacidad de alto vacío. Los primeros medios de atrapado 11 presentan una capacidad de bombeo fija S_1 (l/s) y pueden proporcionar un flujo de bombeo Q_1 (Pa.l.s^{-1}). Q_1 se define como la relación: $Q_1 = P \times S_1$, siendo P la presión parcial del precursor gaseoso (Pascal).

45 Los primeros medios de atrapado 11 comprenden medios de cierre 19 que pueden aislar el volumen del conducto 30 de bombeo de los primeros medios de atrapado 11 del volumen de la cámara 1 de vacío durante el procedimiento de regeneración. El conducto 30 de bombeo es como un volumen intermedio.

Estos medios de cierre 19 pueden consistir en una válvula dispuesta entre los primeros medios de atrapado 11 y la cámara 1 de crecimiento.

50 Cuando se acumula demasiado precursor congelado sobre los paneles criogénicos 10 de la cámara 1 de crecimiento, es necesario regenerar estos paneles criogénicos 10.

55 El procedimiento de regeneración de los paneles criogénicos 10 comprende una primera etapa a) de evacuación del precursor fuera de la cámara de vacío. Durante esta etapa a), se calienta por lo menos un panel criogénico 10 situado dentro de la cámara 1 de vacío, produciendo la desorción del precursor gaseoso inicialmente adsorbido sobre este panel criogénico 10.

El panel criogénico 10 se calienta libremente (deteniendo el flujo de fluido criogénico por ejemplo) o con fuente de calentamiento fija alrededor de la pared de la cámara 1 de crecimiento.

60 Cuando se detiene el flujo de fluido criogénico en este panel criogénico 10, la temperatura del panel criogénico 10 aumenta y se desorbe el precursor gaseoso de su superficie.

La figura 3 representa la evolución de la presión parcial del precursor gaseoso en función del tiempo.

65 La abscisa 31 representa el tiempo y la ordenada 32 representa la presión. La curva denominada 49 representa la evolución de la presión en función del tiempo, para un aparato de la técnica anterior.

La curva denominada 49 muestra que la presión en la cámara 1 de crecimiento aumenta exponencialmente hasta un máximo de presión 52.

5 Durante esta etapa a), una parte del precursor gaseoso desorbido queda atrapado por los primeros medios de atrapado 11. En particular, una parte de esta parte del precursor gaseoso desorbido queda atrapada sobre el panel criogénico 17 de los primeros medios de atrapado 11. Otra parte de esta parte del precursor gaseoso desorbido se bombea mediante el dispositivo 21 de bombeo.

10 El principio es transferir la mayoría del precursor gaseoso desde los paneles criogénicos 10 de la cámara 1 de crecimiento hacia el panel criogénico 17 de los primeros medios de atrapado 11 que pueden aislarse después para su regeneración.

En los ejemplos de las figuras 1 a 3, sólo se regenera el panel criogénico 10.

15 El panel criogénico 17 de los primeros medios de atrapado 11 se enfría, y los medios de cierre 19 se abren para permitir la transferencia del precursor gaseoso que se desorbe desde el panel criogénico 10 hacia el panel criogénico 17 de los primeros medios de atrapado 11. El dispositivo 21 de bombeo de los primeros medios de atrapado 11 está funcionando durante esta operación.

20 La capacidad de bombeo o atrapado S_1 de los primeros medios de atrapado 11 es la combinación de la capacidad de bombeo del dispositivo 21 de bombeo (bombas activas) y la capacidad de bombeo del panel criogénico 17 de los primeros medios de atrapado 11.

25 El procedimiento de regeneración puede disminuirse en diversos procedimientos.

Si la cámara 1 de crecimiento comprende varios paneles criogénicos, los paneles criogénicos pueden calentarse simultánea o secuencialmente.

30 Por ejemplo, durante la etapa a), los paneles criogénicos pueden calentarse secuencialmente.

Esto permite separar los diferentes flujos del precursor gaseoso evaporado a partir de los diferentes paneles criogénicos, y por tanto evitar la adición de presión debido a la adición de estos flujos.

35 El procedimiento de regeneración de los paneles criogénicos 10 comprende una operación de regeneración b) del panel criogénico 17 de los primeros medios de atrapado 11. Durante esta etapa b) los primeros medios de atrapado 11 están aislados de la cámara de vacío 1 mediante los medios de cierre 19.

40 Se calienta el panel criogénico 17 de los primeros medios de atrapado 11, produciendo la desorción del precursor gaseoso atrapado desde el panel criogénico 17. El precursor gaseoso desorbido se bombea mediante el dispositivo 21 de bombeo para alcanzar un alto vacío.

La presión del precursor gaseoso durante el procedimiento de regeneración de los paneles criogénicos 10 depende de tres parámetros:

- 45
- el flujo del precursor gaseoso que depende de la cantidad restante de precursor gaseoso, la superficie cubierta por el precursor gaseoso congelado y la temperatura de esta superficie;
 - la capacidad de bombeo S de las bombas utilizadas para bombear el precursor gaseoso. Debe observarse que los paneles criogénicos que se enfrían deben considerarse como bombas también, ya que están recogiendo precursor gaseoso;
 - la conductancia de la trayectoria entre la fuente de precursor gaseoso (paneles criogénicos calentados) y las bombas (bomba activa o panel criogénico frío).
- 50
- 55

El alto flujo de precursor gaseoso, procedente de la gran cantidad de precursor gaseoso restante, superficie grande, alta temperatura, baja capacidad de bombeo y baja conductancia, induce una alta presión.

60 Para reducir esta presión, el procedimiento de regeneración de los paneles criogénicos 10 comprende una operación de atrapado complementaria de otra parte del precursor gaseoso liberado por los paneles criogénicos 10.

El sistema de epitaxia por haces moleculares comprende segundos medios de atrapado 18 que presentan una capacidad de bombeo variable S_2 que puede regularse en función de la presión parcial del precursor gaseoso. Los medios de atrapado primeros y segundos proporcionan una capacidad de bombeo total $S = S_1 + S_2$, suficiente para mantener la presión parcial del precursor gaseoso en la cámara 1 de vacío a una presión determinada P_L .

65

Los segundos medios de atrapado 18 permiten mantener la presión del gas en la cámara 1 de crecimiento a una presión determinada o deseada P_L cuando la capacidad de bombeo S_1 de los primeros medios de atrapado 11 no es suficiente. El fin de los segundos medios de atrapado 18 es no superar un límite dado de presión para evitar nitrurar componentes calientes (célula de efusión por ejemplo) o materiales calientes. Ventajosamente, la presión es lineal.

Esta presión determinada P_L puede corresponder a un límite en el que la fuente de aluminio o galio no se oxida, por ejemplo.

Por ejemplo, cuando se utiliza amoníaco gaseoso como precursor gaseoso, la presión determinada P_L puede estar entre 10^{-2} y 10^{-1} Pascal.

Esta presión determinada P_L puede corresponder a un límite en el que se fija el sistema de epitaxia por haces moleculares (aproximadamente $2 \cdot 10^5$ Pascal).

Para una capacidad de bombeo S dada, la presión es proporcional al flujo de amoníaco. Por consiguiente, la disminución de la presión regulada induce un flujo menor de amoníaco desorbido. Para una cantidad dada de amoníaco, esto conduce a un tiempo de regeneración más largo. Por tanto, cuanto más cerca está la presión regulada de la presión determinada, más corto es el tiempo de regeneración.

Los segundos medios de atrapado 18 comprenden por lo menos un elemento criogénico de regulación colocado dentro de la cámara 1 de vacío. El elemento criogénico de regulación puede suministrarse mediante un fluido criogénico que va a enfriarse. El fluido criogénico puede ser nitrógeno líquido o glicol, por ejemplo.

En una posible forma de realización, representada en la figura 1, el elemento criogénico de regulación consiste en un elemento 55 criogénico adicional. Preferentemente, este elemento 55 criogénico adicional es un panel criogénico pequeño.

Este elemento 55 criogénico adicional actúa como una bomba temporal para atrapar el amoníaco extra procedente de los paneles criogénicos grandes. Controlar la temperatura de un panel criogénico más pequeño es más fácil gracias a su inercia pequeña en comparación con una grande.

Este elemento 55 criogénico adicional se controla mediante una unidad 48 de control, y se coloca preferentemente en la parte inferior de la cámara 1 de crecimiento.

Esta posición tiene interés en atrapar el amoníaco acumulado sobre la parte inferior del panel criogénico 10 durante su regeneración.

Alternativamente, el elemento 55 criogénico adicional puede colocarse en otra parte de la cámara 1 de crecimiento.

Cuando finaliza la regeneración del panel criogénico 10, se acumula amoníaco sobre el elemento 55 criogénico adicional y puede evacuarse después, por ejemplo.

Los paneles criogénicos presentan una capacidad de bombeo enorme de amoníaco. Una superficie a temperatura de nitrógeno líquido (78 K) presenta una capacidad de bombeo de 100 000 l/s por metro cuadrado para amoníaco, lo que es enorme, en comparación con la capacidad de bombeo de una bomba turbomolecular o bomba criogénica que presenta una velocidad de bombeo de 5000 l/s.

Alternativamente, el elemento criogénico de regulación consiste en el panel criogénico secundario 7.

Alternativamente, tal como se ilustra en la figura 4, el elemento criogénico de regulación puede consistir en por lo menos uno de los paneles criogénicos 10 colocados dentro de la cámara 1 de vacío (panel criogénico lateral o superior o inferior, por ejemplo).

En la figura 4, el elemento criogénico de regulación consiste en el panel criogénico 10 que cubre la superficie interna de la pared lateral 3.

Alternativamente, el elemento criogénico de regulación puede consistir en un panel criogénico que cubre la parte lateral, la superior y la inferior de la pared de la cámara 1 de vacío.

Los segundos medios de atrapado 18 comprenden un manómetro 46 que puede medir la presión parcial del precursor gaseoso dentro de la cámara 1 de vacío, generando una presión medida P_M .

Los segundos medios de atrapado 18 comprenden una válvula 47 que puede ajustar el flujo de fluido criogénico al interior del elemento criogénico de regulación. Esta válvula 47 puede ser una válvula electrónica.

La unidad 48 de control de los segundos medios de atrapado 18 recibe la presión medida P_M y compara ésta con la presión determinada P_L .

5 Si la presión medida P_M es diferente de la presión determinada P_L , la unidad 48 de control puede ordenar a la válvula 47 que ajuste el flujo de fluido criogénico en el elemento criogénico de regulación, de manera que la presión medida P_M alcanza la presión determinada P_L .

10 Por ejemplo, durante la regeneración de uno o más paneles criogénicos 10 de la cámara 1 de crecimiento, si la presión medida P_M de amoníaco gaseoso es superior a la presión determinada P_L , la válvula 47 se abre para aumentar el flujo de fluido criogénico que entra en el elemento criogénico de regulación. Por tanto la temperatura del elemento criogénico de regulación disminuye. Adsorbe más amoníaco gaseoso de manera que la presión medida P_M disminuye para alcanzar la presión determinada P_L .

15 La presión medida P_M puede ser aproximadamente la presión determinada P_L y no ser exactamente igual a esta última.

20 Si la presión medida P_M es inferior a la presión determinada P_L , la válvula 47 se cierra para disminuir el flujo de fluido criogénico que entra en el elemento criogénico de regulación. Por tanto, la temperatura del elemento criogénico de regulación aumenta. Adsorbe menos amoníaco gaseoso de manera que la presión medida P_M aumenta para alcanzar la presión determinada P_L .

En otra posible forma de realización, la regulación de presión puede realizarse ajustando el flujo de fluido criogénico en varios elementos criogénicos de regulación.

25 Este control puede realizarse automáticamente utilizando la unidad 48 de control que puede ser un sistema de bucle cerrado con un regulador PID o controlador de histéresis de encendido/apagado. Alternativamente, pueden utilizarse relés que cambian potencia eléctrica.

30 En la figura 3, las curvas denominadas 50 y 53 representan la evolución de la presión en función del tiempo durante el procedimiento de regeneración mientras que los segundos medios de atrapado 18 controlan el elemento criogénico de regulación. Esta curva 50 de facilita para un primer ejemplo de presión determinada P_L .

35 Esta curva 50 muestra que la presión alcanza un máximo de presión 51 que es inferior al máximo de presión 52 alcanzado sin segundos medios de atrapado 18.

Son posibles otras presiones determinadas P_L . La curva 53 se facilita para un segundo ejemplo de presión determinada P_L . Esta segunda presión determinada P_L es menor que la primera, lo que conduce a un tiempo de regeneración más largo.

40 La curva 53 muestra que la presión en la cámara 1 de crecimiento alcanza un segundo máximo de presión 54, menor que el primer máximo de presión 51.

45 El precursor gaseoso que se desorbe desde uno o más paneles criogénicos 10 está asociado a un flujo de precursor gaseoso de desorción Q_{des} . Los medios de atrapado primeros y segundos 11, 18 proporcionan un flujo de bombeo Q_{bomba} , siendo $Q_{bomba} = Q_{bomba1} + Q_{bomba2}$. Q_{bomba1} está asociado con los primeros medios de atrapado 11 y Q_{bomba2} está asociado con los segundos medios de atrapado 18. La invención permite controlar el flujo global $Q = Q_{des} - Q_{bomba}$, siendo $Q = P \times S$ (siendo P la presión y S la capacidad de bombeo).

50 Por tanto, la invención permite limitar la presión del precursor gaseoso, amoníaco por ejemplo, en una cámara de vacío o de crecimiento de un aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato, durante la regeneración de los paneles criogénicos de la cámara de crecimiento. Por ejemplo, componentes como la célula de efusión pueden mantenerse en un estado caliente sin riesgo de dañarlos.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato que comprende:

- una cámara (1) de vacío,
- un portamuestras (6) dispuesto dentro de dicha cámara (1) de vacío, pudiendo soportar dicho portamuestras (6) dicho sustrato,
- un inyector (9) de gas que puede inyectar un precursor gaseoso al interior de la cámara (1) de vacío, pudiendo reaccionar una parte de dicho precursor gaseoso en la superficie del sustrato,
- por lo menos un panel criogénico (10) colocado dentro de la cámara (1) de vacío y que puede adsorber una parte de dicho precursor gaseoso que no ha reaccionado en la superficie del sustrato, y liberar dicho precursor gaseoso adsorbido,
- unos primeros medios de atrapado (11) conectados a dicha cámara (1) de vacío y que pueden atrapar una parte de dicho precursor gaseoso liberado por dicho panel criogénico (10), presentando dichos primeros medios de atrapado (11) una capacidad de bombeo fija S_1 ,

caracterizado porque comprende:

- unos segundos medios de atrapado (18) que pueden atrapar otra parte de dicho precursor gaseoso liberado por dicho panel criogénico (10) y que presentan una capacidad de bombeo variable S_2 que puede regularse en función de la presión parcial del precursor gaseoso,
- proporcionando dichos primeros y segundos medios de atrapado una capacidad de bombeo total $S = S_1 + S_2$ suficiente para mantener la presión parcial del precursor gaseoso en la cámara (1) de vacío por debajo de una presión determinada P_L .

2. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos segundos medios de atrapado (18) comprenden:

- por lo menos un elemento criogénico de regulación colocado dentro de dicha cámara (1) de vacío, pudiendo suministrarse dicho elemento criogénico de regulación mediante un fluido criogénico,
- un manómetro (46) que puede medir la presión parcial del precursor gaseoso dentro de la cámara (1) de vacío, generando una presión medida P_M ,
- una válvula (47) que puede ajustar el flujo de fluido criogénico al interior de dicho elemento criogénico de regulación, y
- una unidad (48) de control que puede recibir dicha presión medida P_M y compararla con la presión determinada P_L , si la presión medida P_M es diferente de la presión determinada P_L , pudiendo ordenar dicha unidad (48) de control a dicha válvula (47) que ajuste el flujo de fluido criogénico en dicho elemento criogénico de regulación, de manera que la presión medida P_M alcance la presión determinada P_L .

3. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según la reivindicación 2, caracterizado porque dicho elemento criogénico de regulación es un elemento (55) criogénico adicional.

4. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según la reivindicación 2, caracterizado porque dicho elemento criogénico de regulación consiste en dicho por lo menos un panel criogénico (10) colocado dentro de la cámara (1) de vacío.

5. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según la reivindicación 2, caracterizado porque dicho portamuestras (6) está rodeado por un panel criogénico secundario (7), consistiendo dicho elemento criogénico de regulación en dicho panel criogénico secundario (7).

6. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque dichos primeros medios de atrapado (11) comprenden un conducto (30) de bombeo que presenta una pared, estando conectado dicho conducto (30) de bombeo a un dispositivo de bombeo (21) mediante unos primeros extremos (12) y emergiendo en el interior de la cámara (1) de crecimiento mediante unos segundos extremos (13), y estando recubierta la superficie interna de pared de dicho conducto (30) de bombeo por un panel criogénico (17).

7. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según la reivindicación 6, caracterizado porque dichos primeros medios de atrapado (11) comprenden unos medios de cierre (19) que pueden aislar el volumen del conducto (30) de bombeo de dichos primeros medios de atrapado (11) del volumen de la cámara (1) de vacío.

8. Aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque consiste en un sistema de epitaxia por haces moleculares para producir obleas de material semiconductor que comprenden un sustrato, siendo dicha cámara (1) de vacío una cámara (1) de crecimiento que incluye además una pared lateral (3) que presenta una superficie interna, un panel criogénico (10) que recubre la superficie interna de dicha pared lateral (3), comprendiendo dicho aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato por lo menos una célula (8) de efusión que puede evaporar átomos o moléculas de elementos o compuestos, pudiendo reaccionar una parte de dicho precursor gaseoso con los átomos o moléculas evaporados de elementos o compuestos sobre la superficie del sustrato para formar una capa de compuesto semiconductor o aislante.

9. Procedimiento de regeneración para paneles criogénicos de un aparato para depositar una película delgada de material sobre un sustrato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, comprendiendo además dicho procedimiento de regeneración las siguientes etapas sucesivas:

a) evacuar el precursor fuera de la cámara de vacío, incluyendo dicha etapa a) las operaciones siguientes:

- calentar por lo menos un panel criogénico (10) situado dentro de la cámara (1) de vacío produciendo la desorción del precursor gaseoso adsorbido inicialmente sobre dicho panel criogénico (10),
- atrapar una parte de dicho precursor gaseoso desorbido mediante los primeros medios de atrapado (11) que presentan una capacidad de bombeo fija S_1 , atrapándose una parte de dicha parte del precursor gaseoso desorbido sobre el panel criogénico (17) de dichos primeros medios de atrapado (11),

b) regenerar el panel criogénico (17) de dichos primeros medios de atrapado (11), incluyendo dicha etapa b) las operaciones siguientes:

- aislar dichos primeros medios de atrapado (11) de la cámara (1) de vacío,
- calentar dicho panel criogénico (17) de los primeros medios de atrapado (11), produciendo la desorción del precursor gaseoso atrapado desde el panel criogénico (17), y
- bombear dicho precursor gaseoso desorbido mediante una o más bombas para alcanzar un alto vacío,

caracterizado porque comprende, durante la etapa a):

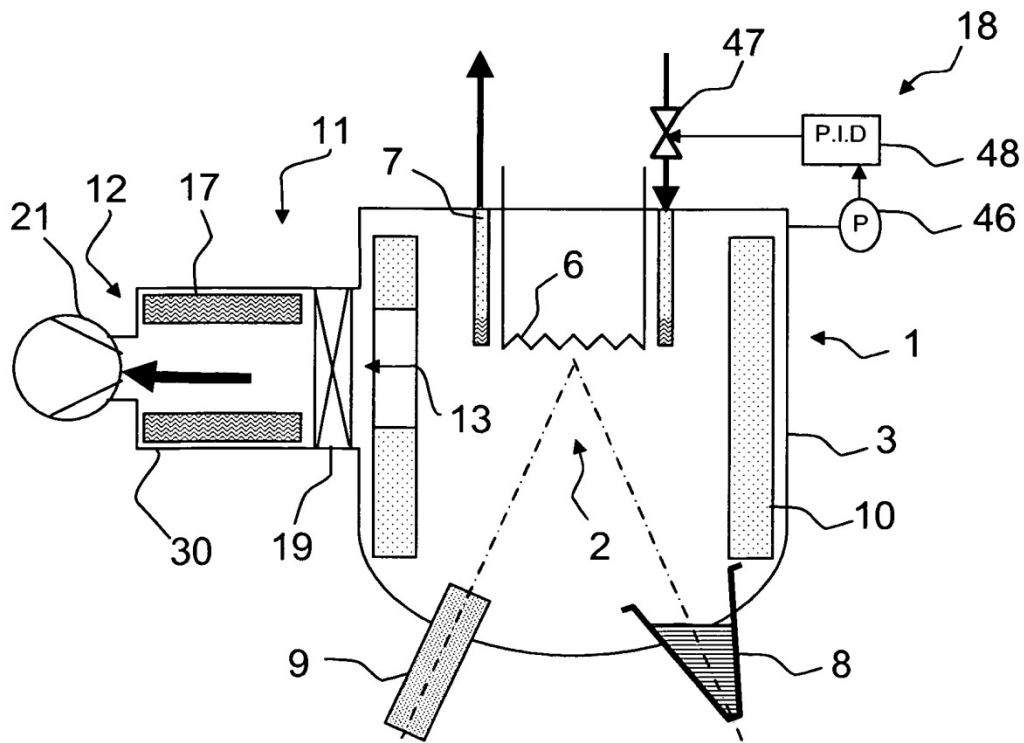
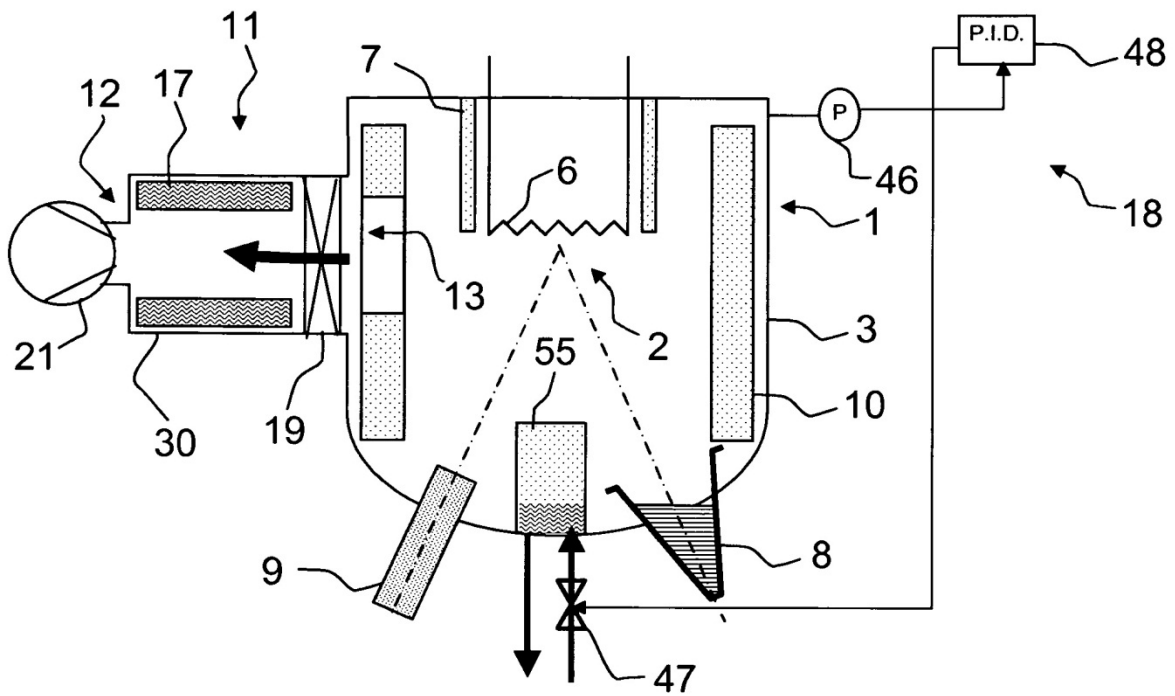
- una operación de atrapado complementaria, mediante los segundos medios de atrapado (18), de otra parte de dicho precursor gaseoso liberado por dicho panel criogénico (10), presentando dichos segundos medios de atrapado (18) una capacidad de bombeo variable S_2 que puede regularse en función de la presión parcial del precursor gaseoso,
- proporcionando dichas operaciones de atrapado una capacidad de bombeo total $S = S_1 + S_2$ suficiente para mantener la presión parcial del precursor gaseoso en la cámara (1) de vacío por debajo de una presión determinada P_L .

10. Procedimiento de regeneración según la reivindicación 9, caracterizado porque la operación de atrapado complementaria comprende las etapas siguientes:

- medir la presión del precursor gaseoso dentro de dicha cámara (1) de vacío, generando una presión medida P_M ,
- comparar la presión medida P_M con la presión determinada P_L y si la presión medida P_M es diferente de la presión determinada P_L , se ajusta la capacidad de bombeo S_2 de un elemento criogénico de regulación situado dentro de dicha cámara (1) de vacío, de manera que la presión medida P_M alcanza la presión determinada P_L .

11. Procedimiento de regeneración según cualquiera de las reivindicaciones 9 ó 10, caracterizado porque, la capacidad de bombeo S_2 de dicho elemento criogénico de regulación se ajusta variando el flujo de fluido criogénico en dicho elemento criogénico de regulación.

12. Procedimiento de regeneración según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, caracterizado porque el precursor gaseoso es amoníaco gaseoso, estando comprendida la presión determinada P_L entre 10^{-2} y 10^{-1} Pascal.



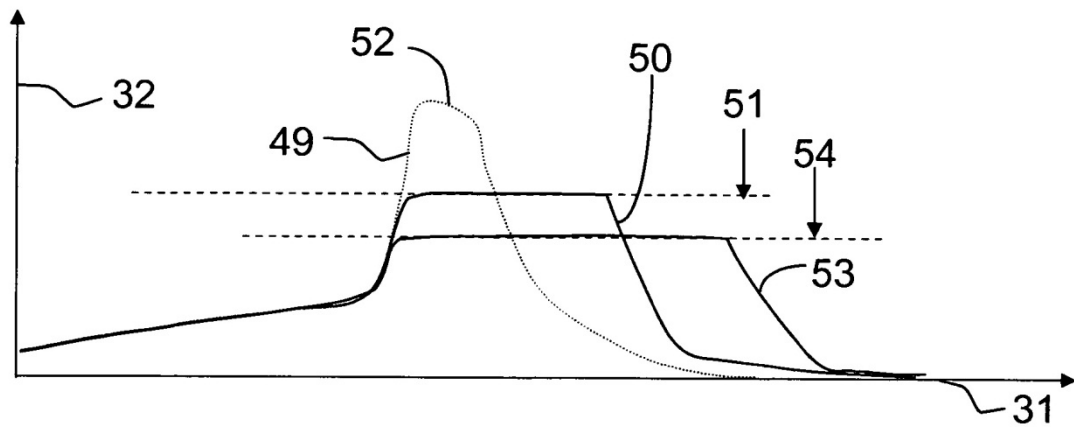


FIGURA 3

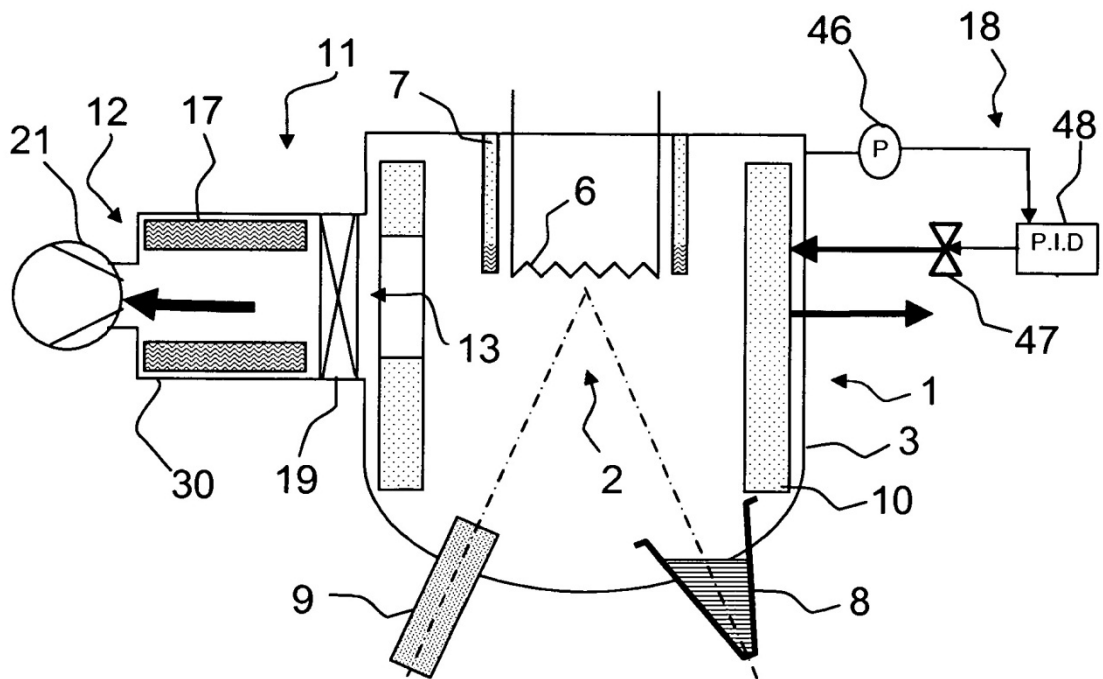


FIGURA 4