

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 870 613**

51 Int. Cl.:

**C23C 16/455** (2015.01)

**C23C 16/48** (2015.01)

**C23C 16/54** (2015.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.11.2015 PCT/FI2015/050819**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.06.2016 WO16102748**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2015 E 15872018 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.04.2021 EP 3237650**

54 Título: **Método y aparato de ALD**

30 Prioridad:

**21.12.2014 FI 20140361**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**27.10.2021**

73 Titular/es:

**PICOSUN OY (100.0%)  
Tietotie 3  
02150 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**MALINEN, TIMO;  
KOSTAMO, JUHANA;  
LI, WEI-MIN y  
PILVI, TERO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 870 613 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método y aparato de ALD

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, al tipo de técnicas de deposición de capa atómica (ALD).

## 10 Antecedentes de la invención

Esta sección ilustra información de antecedentes útil sin admitir ninguna técnica descrita en este documento representativa del estado de la técnica.

La Deposición de Capa Atómica (ALD) es un método de deposición química especial basado en la introducción secuencial de al menos dos especies precursoras reactivas en al menos un sustrato en un espacio de reacción. El mecanismo de crecimiento de ALD se basa en las diferencias de fuerza de unión entre la adsorción química (quimisorción) y la adsorción física (fisisorción). La ALD utiliza la quimisorción y elimina la fisisorción durante el proceso de deposición. Durante la quimisorción se forma un fuerte enlace químico entre el(los) átomo(s) de la superficie de una fase sólida y una molécula que llega de la fase gaseosa.

Un ciclo de deposición de ALD consiste en cuatro etapas secuenciales: pulso A, purga A, pulso B, y purga B. El pulso A consiste en vapor precursor metálico y el pulso B en vapor precursor no metálico. Un gas inactivo, tal como nitrógeno o argón, y una bomba de vacío se utilizan para purgar los subproductos de reacción gaseosos y las moléculas reactivas residuales del espacio de reacción durante la purga A y la purga B. Una secuencia de deposición comprende al menos un ciclo de deposición. Los ciclos de deposición se repiten hasta que la secuencia de deposición ha producido una película delgada del espesor deseado.

Las especies precursoras forman mediante quimisorción un enlace químico a los sitios reactivos de la superficie del sustrato. No se forma más que una monocapa molecular de un material sólido en la superficie durante un pulso de precursor. Por tanto, el proceso de crecimiento es autolimitado o saturativo. Por ejemplo, el primer precursor puede incluir ligandos que permanecen unidos a las especies adsorbidas y saturan la superficie, lo que evita una mayor quimisorción. La temperatura del espacio de reacción se mantiene por encima de las temperaturas de condensación y por debajo de las temperaturas de descomposición térmica de los precursores utilizados, de manera que la especie de molécula precursora se quimisorbe sobre el sustrato o sustratos esencialmente intacta. Esencialmente intacto significa que los ligandos volátiles pueden desprenderse de la molécula precursora cuando las especies de moléculas precursoras se quimisorben sobre la superficie. La superficie se satura esencialmente con el primer tipo de sitios reactivos, es decir, especies adsorbidas de las primeras moléculas precursoras. Esta etapa de quimisorción va seguida de una primera etapa de purga (purga A) en donde el primer precursor en exceso y los posibles subproductos de la reacción se eliminan del espacio de reacción. A continuación, se introduce el segundo vapor precursor en el espacio de reacción. Las segundas moléculas precursoras reaccionan con las especies adsorbidas de las primeras moléculas precursoras, formando así el material de película fina deseado. Este crecimiento termina una vez que se ha consumido la cantidad total del primer precursor adsorbido y la superficie se ha saturado esencialmente con el segundo tipo de sitios reactivos. El exceso de vapor del segundo precursor y los posibles vapores de los subproductos de la reacción se eliminan después mediante una segunda etapa de purga (purga B). A continuación, se repite el ciclo hasta que la película ha crecido hasta el espesor deseado.

Las películas delgadas cultivadas por ALD son densas, sin orificios y con un espesor uniforme. Por ejemplo, en un experimento, el óxido de aluminio ha sido cultivado por ALD a partir de trimetilaluminio ( $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ ), también conocido como TMA, y agua, lo que da como resultado solo aproximadamente un 1 % de falta de uniformidad sobre una oblea de sustrato.

El documento US20110256726A1 divulga un método y un aparato para depositar una película sobre un sustrato usando reacciones mediadas por la superficie. El método permite que un primer y un segundo reactivos coexistan en un reactor.

## 55 Sumario

La invención proporciona un método y aparato de deposición de capa atómica, como se define en las reivindicaciones.

De acuerdo con un primer aspecto de ejemplo de la invención, se proporciona un método, que comprende: realizar una secuencia de deposición de capa atómica que comprende al menos un ciclo de deposición, produciendo cada ciclo una monocapa de material depositado, comprendiendo el ciclo de deposición introducir al menos una primera especie precursora y una segunda especie precursora a la superficie de un sustrato en una cámara de reacción, en donde las primera y segunda especies precursoras están presentes en fase gaseosa en dicha cámara de reacción simultáneamente, y en donde el ciclo de deposición comprende un periodo de activación y un periodo de regeneración, y en el método:

durante el periodo de activación, la primera especie precursora adsorbida a la superficie del sustrato en un periodo de regeneración anterior es excitada por energía fotónica, por lo que la primera especie precursora adsorbida reacciona en la superficie con la segunda especie precursora que está en fase gaseosa; y durante un periodo de regeneración posterior, la primera especie precursora que está en fase gaseosa reacciona con la segunda especie precursora adsorbida a la superficie en el periodo de activación.

Se puede considerar que un ciclo de deposición comienza con el periodo de regeneración o con el periodo de activación. El primer ciclo de deposición puede comenzar con un periodo de regeneración durante el cual el primer precursor reacciona con la superficie del sustrato. El periodo de activación sigue inmediatamente al periodo de regeneración. El periodo de regeneración produce la mitad de una monocapa de material depositado. Y, el periodo de activación produce la mitad restante de una monocapa de material depositado.

La primera y la segunda especies precursoras pueden seleccionarse de modo que sean inertes entre sí en fase gaseosa en condiciones normales de proceso, es decir, en la temperatura de procesamiento sin activación. Pueden estar presentes en un mismo volumen dentro de la cámara de reacción (mezcladas entre sí). En ciertas realizaciones de ejemplo, la segunda especie precursora es inerte frente a la primera especie precursora adsorbida sin activación, mientras que la primera especie precursora es reactiva, también sin activación, con la segunda especie precursora adsorbida a la superficie.

En ciertas realizaciones de ejemplo, alternativamente, la segunda especie precursora reacciona con la especie adsorbida del primer precursor y la primera especie precursora reacciona con la especie adsorbida del segundo precursor mediante quimisorción.

Las reacciones pueden ser reacciones en superficie autosaturadas secuenciales.

En cierta realización de ejemplo, una de la primera o segunda especies precursoras es excitada por energía fotónica durante el periodo de activación. En ciertas realizaciones de ejemplo, los periodos de activación y regeneración se alternan, en donde la activación (o excitación) ocurre solo durante el periodo de activación. La activación puede ser implementada por fotones emitidos por una fuente de fotones, tal como una lámpara UV, una lámpara LED, una lámpara de xenón, una fuente de rayos X, una fuente de láser o una fuente de infrarrojos.

El método comprende excitar la primera especie precursora adsorbida a la superficie del sustrato, por lo que la primera especie precursora adsorbida reacciona en la superficie con la segunda especie precursora que está en fase gaseosa.

En ciertas realizaciones de ejemplo, el método comprende excitar la segunda especie precursora en fase gaseosa, por lo que la segunda especie precursora excitada reacciona en la superficie con la primera especie precursora adsorbida.

En ciertas realizaciones de ejemplo, la primera especie precursora reacciona durante el periodo de regeneración, sin activación (es decir, sin excitación), con la segunda especie precursora adsorbida a la superficie.

El primer precursor puede ser un precursor metálico y el segundo precursor un precursor no metálico.

Entonces, por ejemplo, el precursor no metálico en fase gaseosa puede excitarse mediante energía fotónica en la proximidad de la superficie del sustrato, o el precursor metálico adsorbido a la superficie puede excitarse durante el periodo de activación.

En otras ciertas realizaciones, ambas especies precursoras son especies precursoras no metálicas. Son ejemplos de materiales de revestimiento, por ejemplo, metales, óxidos y nitruros.

En ciertas realizaciones de ejemplo, los ciclos de deposición se realizan omitiendo los periodos de purga, es decir, sin realizar periodos de purga.

En ciertas realizaciones de ejemplo, el número de especies precursoras es mayor de dos. En estas realizaciones, uno de los precursores puede ser reactivo con la superficie sin excitación, siendo los otros precursores inertes frente a reacciones superficiales sin excitación.

El método de conformidad con el primer aspecto de ejemplo y su realización se puede utilizar para una pluralidad de aplicaciones diferentes, por ejemplo, para revestir cualquier sustrato fijo o móvil aplicable. El sustrato puede ser, por ejemplo, un objeto en forma de placa, tal como una oblea de silicio, una placa de vidrio, una lámina metálica. El sustrato puede ser una banda de sustrato, una hebra o una tira. El sustrato puede ser un sustrato de vidrio flexible delgado. Puede ser un polímero. Puede ser una banda fibrosa de papel, cartón o nanocelulosa. Puede ser una celda solar, una pantalla OLED, un componente de placa de circuito impreso o generalmente un componente electrónico. El método se puede utilizar para la pasivación a baja temperatura de aplicaciones sensibles al calor.

De acuerdo con un segundo aspecto de ejemplo de la invención, se proporciona un aparato, que comprende:

una cámara de reacción;

al menos una línea de alimentación; y

un sistema de control configurado para controlar el aparato para realizar una secuencia de deposición de capa atómica que comprende al menos un ciclo de deposición en la cámara de reacción, produciendo cada ciclo una monocapa de material depositado, comprendiendo el ciclo de deposición introducir al menos una primera especie precursora y una segunda especie precursora a través de dicha al menos una línea de alimentación a la superficie de un sustrato en la cámara de reacción, en donde

el sistema de control está configurado además para controlar que el vapor precursor de las primera y segunda especies precursoras está presente en fase gaseosa en dicha cámara de reacción simultáneamente, y en donde el ciclo de deposición comprende un periodo de activación y un periodo de regeneración, y el aparato comprende una fuente de fotones para excitar,

durante el periodo de activación por energía fotónica, la primera especie precursora adsorbida a la superficie del sustrato en un periodo de regeneración anterior, por lo que la primera especie precursora adsorbida reacciona en la superficie con la segunda especie precursora que está en fase gaseosa, estando configurado el aparato además para causar:

durante un periodo de regeneración posterior, que la primera especie precursora que está en fase gaseosa reaccione con la segunda especie precursora adsorbida a la superficie en el periodo de activación.

En ciertas realizaciones de ejemplo, el aparato comprende una fuente de fotones para excitar una de la primeras o la segunda especie precursora mediante energía fotónica durante el periodo de activación.

El aparato comprende una fuente de fotones para excitar la primera especie precursora adsorbida a la superficie del sustrato, por lo que la primera especie precursora adsorbida reacciona en la superficie con la segunda especie precursora que está en fase gaseosa.

En ciertas realizaciones de ejemplo, el aparato está configurado para causar:

la excitación de la segunda especie precursora en fase gaseosa, por lo que la segunda especie precursora excitada reacciona en la superficie con la primera especie precursora adsorbida.

En ciertas realizaciones de ejemplo, las reacciones son reacciones en superficie autosaturadas secuenciales.

En ciertas realizaciones de ejemplo, el primer precursor es un precursor metálico y el segundo precursor es un precursor no metálico.

En ciertas realizaciones de ejemplo, el sistema de control está configurado para controlar que los ciclos de deposición se realicen sin realizar periodos de purga.

En lo que antecede se han ilustrado diferentes aspectos y realizaciones de ejemplo no vinculantes de la presente invención. Las realizaciones anteriores se utilizan simplemente para explicar aspectos o etapas seleccionados que pueden utilizarse en implementaciones de la presente invención. Algunas realizaciones pueden presentarse solo con referencia a ciertos aspectos de ejemplo de la invención. Debería apreciarse que las realizaciones correspondientes también pueden aplicarse a otros aspectos de ejemplo. Puede formarse cualquier combinación apropiada de las realizaciones.

### Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirá la invención, únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra un diagrama de tiempos de ejemplo de conformidad con una realización de ejemplo;

la figura 2 muestra un diagrama de tiempos de ejemplo de conformidad con otra realización de ejemplo;

la figura 3 muestra una vista lateral de un aparato de ejemplo de conformidad con una realización de ejemplo;

la figura 4 muestra la carga y descarga en el aparato de la figura 3;

la figura 5 muestra una vista superior del aparato de las figuras 3 y 4;

la figura 6 muestra un ejemplo adicional de fuentes y líneas de alimentación en un aparato de deposición;

la figura 7 muestra diferentes métodos de modulación de conformidad con una realización de ejemplo;

la figura 8 muestra otra realización de ejemplo;

la figura 9 muestra un dispositivo de sombreado de ejemplo de conformidad con una realización de ejemplo;

la figura 10 muestra un ejemplo de boquilla de sombreado de conformidad con una realización de ejemplo;

la figura 11 muestra una vista lateral de un aparato de ejemplo de conformidad con otra realización de ejemplo; y

la figura 12 muestra un diagrama de bloques aproximado de un sistema de control de un aparato de deposición de conformidad con una realización de ejemplo.

**Descripción detallada**

Los expertos en la materia conocen los conceptos básicos de un mecanismo de crecimiento de ALD. Como se menciona en la parte introductoria de esta solicitud de patente, ALD es un método de deposición química especial basado en la introducción secuencial de al menos dos especies precursoras reactivas en al menos un sustrato. Un ciclo básico de deposición de ALD consiste en cuatro etapas secuenciales: pulso A, purga A, pulso B y purga B. El pulso A consiste en un primer vapor precursor y el pulso B en otro vapor precursor. A continuación se presenta una desviación del pensamiento básico del ciclo de deposición.

La figura 1 muestra un diagrama de tiempos de ejemplo de un método de conformidad con una realización de ejemplo. Se realiza una secuencia de deposición de capa atómica que comprende al menos un ciclo de deposición donde cada ciclo produce una monocapa de material depositado. El ciclo de deposición comprende la introducción de una primera especie precursora y una segunda especie precursora en la superficie del sustrato en una cámara de reacción, en donde las primera y segunda especies precursoras están presentes en fase gaseosa en dicha cámara de reacción simultáneamente.

En este ejemplo, la primera especie precursora es un precursor metálico y la segunda especie precursora es un precursor no metálico. La primera y la segunda especies precursoras son inactivas entre sí en fase gaseosa.

El método comprende alternar un periodo de activación (desde el instante  $t_1$  a  $t_2$ ) y un periodo de regeneración (desde el instante  $t_2$  a  $t_3$ ). Como se demuestra en la figura 1, durante el periodo de activación, el flujo de precursor metálico a la cámara de reacción está desconectado. La superficie del sustrato ha sido saturada por las especies precursoras metálicas en un periodo de regeneración anterior. El flujo de precursor no metálico a la cámara de reacción está activado. Sin embargo, el precursor no metálico se ha seleccionado de modo que no reaccione con el precursor metálico en la superficie del sustrato sin excitación adicional (significado adicional en el presente documento energía adicional a la energía térmica que prevalece en la cámara de reacción).

La especie precursora no metálica en la proximidad de la superficie del sustrato se excita exponiéndola a energía fotónica durante el periodo de activación. Esto proporciona a las especies precursoras no metálicas la energía adicional necesaria para reaccionar con las especies precursoras metálicas adsorbidas en la superficie del sustrato. Como resultado, la superficie del sustrato se satura con las especies precursoras no metálicas.

Alternativamente, la especie precursora metálica en la superficie del sustrato se excita exponiéndola a energía fotónica durante el periodo de activación. Esto proporciona la energía adicional requerida para la reacción entre las especies precursoras metálicas adsorbidas a la superficie del sustrato y las especies precursoras no metálicas en fase gaseosa. Como resultado, la superficie del sustrato se satura con las especies precursoras no metálicas.

La alternativa que se desea utilizar para la excitación puede seleccionarse ajustando la longitud de onda de los fotones (es decir, luz/radiación).

Durante la fase de regeneración inmediatamente siguiente, tanto el flujo de precursor no metálico como el flujo de precursor metálico están conectados y la exposición a fotones está desconectada. Tanto el primer vapor precursor (precursor metálico) como el segundo vapor precursor (precursor no metálico) están presentes en fase gaseosa en la cámara de reacción simultáneamente. La exposición a fotones se puede desconectar con un dispositivo de sombreado.

La especie precursora metálica reacciona con las especies precursoras no metálicas que fueron adsorbidas a la superficie en el periodo de activación. Aunque están presentes, las especies precursoras no metálicas no reaccionan con la superficie del sustrato ya que la exposición a los fotones está desconectada. Como resultado, la superficie del sustrato se satura con las especies precursoras metálicas.

Estos ciclos de deposición se repiten para lograr el espesor deseado. Los periodos de purga convencionales se pueden omitir y, por lo tanto, se logra una tasa de crecimiento de ALD más rápida.

Durante el periodo de regeneración, se utiliza un flujo de gas inactivo como flujo de gas portador para el precursor metálico. Sin embargo, el flujo de gas inactivo a la cámara de reacción también puede estar conectado durante el periodo de activación.

El mecanismo de reacción tanto durante el periodo de activación como durante el periodo de regeneración es la quimisorción. Las reacciones pueden ser reacciones en superficie autosaturadas.

El gas inactivo utilizado como gas portador es el mismo gas o un gas diferente que el gas fuente de precursor no metálico. En ciertas realizaciones de ejemplo, como se muestra en la figura 2, el mismo gas (indicado en el presente documento como segundo gas de procesamiento) se usa como gas portador y como gas fuente de precursor no metálico. El flujo del segundo gas de procesamiento hacia la cámara de reacción se mantiene durante todo el ciclo de deposición. En estas realizaciones, el segundo gas de procesamiento funciona como gas portador durante el periodo de regeneración y como gas fuente de precursor no metálico durante el periodo de activación. Tanto la primera especie

precursora (precursor metálico) como la segunda especie precursora (precursor no metálico) están presentes en fase gaseosa en la cámara de reacción simultáneamente. En una realización de ejemplo, se utiliza trimetilaluminio ( $\text{TMA}, (\text{CH}_3)_3\text{Al}$ ) como precursor metálico y oxígeno ( $\text{O}_2$ ) como segundo gas de procesamiento. Después, durante el periodo de activación, el oxígeno se excita a los radicales oxígeno  $\text{O}^*$ , y se producen reacciones superficiales entre los radicales  $\text{O}^*$  y el TMA adsorbido para formar el material de revestimiento deseado, óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). En otras ciertas realizaciones, ambas especies precursoras son especies precursoras no metálicas. Son ejemplos de materiales de revestimiento, por ejemplo, metales, óxidos y nitruros.

La figura 3 muestra una vista lateral de un aparato de ejemplo de conformidad con una realización de ejemplo. El aparato puede ser un reactor de deposición de capa atómica. El aparato comprende una cámara de reacción 210 que está rodeada por una cámara exterior 220. La cámara de reacción 210 puede tener opcionalmente paredes que definen un espacio de expansión que se ensancha hacia abajo como se muestra en la figura 3. El espacio intermedio entre la cámara exterior 220 y la cámara de reacción 210 se presuriza transportando gas inactivo al espacio, de modo que existe una ligera sobrepresión en comparación con el interior de la cámara de reacción 210.

Un soporte de sustrato 202 soporta un sustrato 201 en la cámara de reacción 210. El sustrato 201 se puede cargar y descargar de la cámara de reacción 210 (como se muestra con la flecha 231) a través de una cámara de transferencia de sustrato 230 unida a la cámara exterior 220. La cámara de reacción 210 comprende una estructura móvil, tal como una puerta 215, y la carga y descarga se realiza con la puerta 215 en una posición abierta como se muestra en la figura 4. Alternativamente, la estructura móvil puede estar formada por dos (o más) subpartes anidadas o miembros en forma de anillo que encajan entre sí, siendo una de dichas subpartes o miembros en forma de anillo verticalmente móvil para permitir la carga y descarga a través de una abertura así formada.

Volviendo a la figura 3, el aparato comprende al menos una línea de alimentación 211 de vapor precursor para transportar vapor precursor a la cámara de reacción 210. El aparato comprende además una bomba de vacío 213 en una línea de evacuación 212 para mantener un flujo de salida desde la cámara de reacción 210.

El aparato comprende una fuente de fotones 240 por encima de la superficie del sustrato. La fuente de fotones 240 puede ser una lámpara UV, una lámpara LED o, por ejemplo, una fuente de rayos X, una fuente de láser o una fuente de infrarrojos. Esta proporciona exposición a fotones emitiendo fotones 241. La fuente de fotones 240 en una realización de ejemplo funciona de manera intermitente. Los fotones 241 se emiten durante el periodo de activación y los fotones 241 no se emiten durante el periodo de regeneración. Como resultado, la exposición a fotones está conectada durante el periodo de activación y desconectada durante el periodo de regeneración. En una realización alternativa, la fuente de fotones 240 está encendida todo el tiempo (y emite fotones 241). En una realización de este tipo, la exposición a fotones se puede controlar mediante un dispositivo de sombreado (máscara) aplicado entre la fuente 240 de fotones y la superficie del sustrato. La figura 4 muestra un dispositivo de sombreado 250 de ejemplo. La exposición a fotones se proporciona a las áreas de la superficie del sustrato que están orientadas hacia la fuente de fotones 240 detrás del dispositivo de sombreado 250. El periodo de activación y la deposición resultante (crecimiento de material) ocurre, por tanto, solo en estas áreas. El dispositivo de sombreado 250 puede ser estacionario, lo que lleva a una deposición selectiva solo en ciertas áreas de la superficie (si el dispositivo de sombreado 250 es estacionario, la exposición a fotones se puede conectar y desconectar, p. ej., haciendo parpadear la fuente de fotones 240). O, puede ser móvil (como se muestra con la flecha 251) para desplazar el área expuesta en la superficie del sustrato (o para sombrear el área del sustrato por completo durante el periodo de regeneración en una realización).

La figura 5 muestra una vista superior del aparato de las figuras 3 y 4 compatible con el método mostrado en la figura 1. La especie precursora no metálica fluye hacia la cámara de reacción 210 a través de la línea de alimentación 211 y la especie precursora metálica junto con el gas portador inactivo a través de la línea de alimentación 211'.

El aparato comprende una fuente 40 de gas inactivo, una fuente de precursor metálico 41 y una fuente de precursor no metálico 42. La fuente 40 de gas inactivo está en comunicación fluida con la entrada de una válvula 50 de línea de gas inactiva. Una primera salida de la válvula 50 conduce al espacio intermedio entre la cámara exterior 220 y la cámara de reacción 210 donde se libera gas inactivo al espacio intermedio a través de un punto 44 de liberación de gas. Una segunda salida de la válvula 50 está en comunicación fluida con la entrada de una válvula 54 de entrada de gas portador. Una primera salida de la válvula 54 está en comunicación fluida con una entrada de gas portador de la fuente 41 de precursor metálico. Una segunda salida de la válvula 54 está en comunicación fluida con una segunda entrada de una válvula 51 de la línea de precursor metálico. La fuente 41 de precursor metálico está en comunicación fluida con una primera entrada de la válvula 51. La salida de la válvula 51 continúa como la línea de alimentación 211'. La fuente de precursor no metálico está en comunicación fluida con la entrada de una válvula 52 de la línea de precursor no metálico. La salida de la válvula 52 continúa como la línea de alimentación 211.

Durante la fase de activación, la primera entrada de la válvula 51 de la línea de precursor metálico está cerrada. Por consiguiente, la especie precursora metálica no fluye hacia la cámara de reacción 210. La válvula 52 de la línea de precursor no metálico está abierta, lo que permite que las especies precursoras no metálicas fluyan hacia la cámara de reacción 210 a través de la línea de alimentación 211. Una ruta desde la fuente de gas inactivo 40 a la cámara de reacción 210 a través de la línea de alimentación 211' se mantiene abierta o cerrada dependiendo de la

implementación. La especie precursora no metálica en la proximidad de la superficie del sustrato en el área orientada hacia la fuente de fotones 240 (es decir, que no están a la sombra del dispositivo de sombreado 250) se excita. Alternativamente, la especie precursora metálica en la superficie del sustrato se excita. En ambas alternativas, la excitación permite la reacción entre la especie precursora metálica adsorbida y la especie precursora no metálica en fase gaseosa. Como resultado, la superficie del sustrato en dicha área se satura por las especies precursoras no metálicas. Si se desea, puede disponerse mediante el dispositivo de sombreado 250, que toda la superficie del sustrato o solo una parte de ella se sature.

Durante la fase de regeneración, la primera entrada y la salida de la válvula 51 de la línea de precursor metálico están abiertas, permitiendo que la especie precursora metálica fluya hacia la cámara de reacción 210 a través de la línea de alimentación 211'. La válvula 52 de la línea de precursor no metálico está abierta permitiendo que las especies precursoras no metálicas fluyan hacia la cámara de reacción 210 a través de la línea de alimentación 211. La exposición a fotones se desconecta mediante el dispositivo de sombreado 250, o al no enviar fotones en la realización que usa la fuente de fotones intermitente. La especie precursora metálica reacciona con las especies precursoras no metálicas que fueron adsorbidas a la superficie en el periodo de activación. Como resultado, la superficie del sustrato se satura por las especies precursoras metálicas en el área de las especies precursoras no metálicas adsorbidas.

Como la especie precursora no metálica siempre está presente en la cámara de reacción 210, el siguiente periodo de activación puede comenzar inmediatamente cuando la exposición a fotones se conecta de nuevo. En una realización de ejemplo, la fuente de fotones 240 está siempre encendida y la exposición a fotones en la superficie del sustrato se ajusta simplemente moviendo el dispositivo de sombreado 250.

La figura 6 muestra un ejemplo adicional de fuentes y líneas de alimentación en un aparato de deposición compatible con el método mostrado en la figura 2. El aparato puede ser del tipo mostrado en las figuras 3 y 4. El aparato comprende una fuente 41 de precursor metálico y una segunda fuente 40 de gas de procesamiento. El segundo gas de procesamiento funciona como gas inactivo (protector), gas portador y segundo gas precursor (aquí: precursor no metálico) dependiendo de la fase del ciclo de deposición.

La segunda fuente 40 de gas de procesamiento está en comunicación fluida con la entrada de una válvula 50 de la línea de gas inactivo. Una primera salida de la válvula 50 conduce como una línea de gas protector a un espacio intermedio entre una cámara exterior 220 y una cámara de reacción 210 del aparato. El segundo gas de procesamiento en la propiedad de gas protector inactivo se libera al espacio intermedio a través de un punto 44 de liberación de gas. Una segunda salida de la válvula 50 está en comunicación fluida con la entrada de una válvula 54 de entrada de gas portador. Una primera salida de la válvula 54 está en comunicación fluida con una entrada de gas portador de la fuente 41 de precursor metálico. Una segunda salida de la válvula 54 está en comunicación fluida con una segunda entrada de una válvula 51 de la línea de precursor metálico. La fuente 41 de precursor metálico está en comunicación fluida con una primera entrada de la válvula 51. La salida de la válvula 51 continúa como una línea de alimentación de entrada de la cámara de reacción 211' hacia la cámara de reacción 210. El gas/vapor que fluye en la línea de alimentación 211' se libera a la cámara de reacción 210 a través de un punto 14 de liberación de gas.

Durante la fase de activación, la primera entrada de la válvula 51 de la línea de precursor metálico está cerrada. Por consiguiente, la especie precursora metálica no fluye hacia la cámara de reacción 210. Se mantiene abierta una ruta desde la segunda fuente de gas de procesamiento 40 a la cámara de reacción 210 a través de la línea de alimentación 211' permitiendo que el segundo gas de procesamiento en la propiedad de precursor no metálico fluya hacia la cámara de reacción 210. La ruta se puede formar a través de las válvulas 50, 54 y 51. La especie precursora no metálica en la proximidad de la superficie del sustrato en el área orientada hacia la fuente de fotones 240 (es decir, que no están a la sombra del dispositivo de sombreado 250, si se aplica) se excita. Alternativamente, la especie precursora metálica en la superficie del sustrato se excita. En ambas alternativas, la excitación permite la reacción entre la especie precursora metálica adsorbida y la especie precursora no metálica en fase gaseosa. Como resultado, la superficie del sustrato en dicha área se satura por las especies precursoras no metálicas. Si se desea, puede disponerse mediante el dispositivo de sombreado 250, que toda la superficie del sustrato o solo una parte de ella se sature.

Durante la fase de regeneración, la primera entrada y la salida de la válvula 51 de la línea de precursor metálico están abiertas permitiendo que la especie precursora metálica junto con el segundo gas de procesamiento en la propiedad de gas portador fluya hacia la cámara de reacción 210 a través de la línea de alimentación 211'. La exposición a fotones se desconecta mediante el dispositivo de sombreado 250, o al no enviar fotones en la realización que usa una fuente de fotones intermitente. La especie precursora metálica reacciona con las especies precursoras no metálicas que fueron adsorbidas a la superficie en el periodo de activación. Como resultado, la superficie del sustrato se satura por las especies precursoras metálicas en el área de las especies precursoras no metálicas adsorbidas.

La línea de gas protector se mantiene abierta o cerrada según la implementación. En ciertas realizaciones de ejemplo, la línea de gas protector se mantiene abierta durante todo el ciclo/secuencia de deposición permitiendo que el segundo gas de procesamiento en la propiedad de gas protector inactivo entre en espacio intermedio a través del punto 44 de liberación de gas.

La alternancia de la exposición a fotones y la sombra en la superficie del sustrato se define como modulación. La

modulación se puede realizar de diversas maneras. Esto se ilustra en la figura 7, que muestra diferentes métodos de modulación. En un primer método, un dispositivo de sombreado 750 se mueve por encima de la superficie del sustrato como se muestra mediante la flecha 751. En un segundo método, la fuente de fotones 740 se mueve como se muestra mediante la flecha 752. En un tercer método, el sustrato 701 se mueve como se muestra mediante la flecha 753. En el caso de un sustrato sobre un soporte de sustrato 702, el soporte de sustrato 702 se puede mover. Otro método es cualquier combinación del primero, segundo y tercer métodos de modulación. En un método adicional más, se utiliza una luz/fuente intermitente sola o en combinación con los otros métodos.

La figura 8 muestra otra realización de ejemplo. El aparato comprende una fuente de fotones 840 a una distancia de un sustrato 801 que está soportado por un soporte de sustrato 802. El aparato comprende un dispositivo de sombreado/enmascarado 850 con patrón y una lente 855 entre la fuente de fotones 840 y el sustrato 801. Los periodos de activación y regeneración se realizan como en las realizaciones anteriores. El crecimiento se produce solo en las áreas de la superficie del sustrato en las que la lente 855 enfoca el patrón producido por la máscara 850. De esta manera, el aparato funciona como una impresora de ALD. En una realización de ejemplo adicional, el sustrato 801 y/o la máscara 850 se mueven para lograr la modulación como se ha descrito anteriormente.

En otra realización más, la deposición selectiva se logra con una fuente de luz enfocada o bien definida, tal como una fuente láser. En una realización de este tipo, el dispositivo de sombreado/enmascarado 250 (750, 850) se puede omitir, si se desea, y se proporciona una fuente láser en lugar de la fuente 240 de fotones. De lo contrario, el método de crecimiento es similar al método descrito anteriormente. Por consiguiente, la fuente de láser está configurada para proporcionar exposición a fotones en un área seleccionada (bien definida). La fuente de láser puede emitir, por ejemplo, un pulso de láser (un rayo láser). La exposición a fotones se proporciona al área seleccionada en la superficie del sustrato que está orientada hacia el láser y, en consecuencia, el crecimiento en el periodo de activación se produce solo en dicha área seleccionada. Seguirá el periodo de regeneración. El rayo láser se puede desplazar si se requiere crecimiento en otras áreas. Cuando el rayo láser se desplaza, se producirá un mayor crecimiento en la nueva área que está orientada hacia el rayo. La realización se puede implementar con o sin dispositivo de sombreado.

La figura 9 muestra un dispositivo de sombreado de ejemplo (o cuadrícula de sombreado) de conformidad con una realización de ejemplo. El dispositivo de sombreado 950 comprende un marco de dispositivo de sombreado 951 con partes sólidas a través de las cuales los fotones emitidos no pueden penetrar y ventanas 952 a través de las cuales pueden penetrar los fotones emitidos. La forma de las ventanas 952 depende de la implementación. Las ventanas 952 pueden estar formadas por vidrio u otro material a través del cual puedan penetrar los fotones.

La figura 10 muestra además un ejemplo de boquilla de sombreado de conformidad con un realización de ejemplo. La boquilla de sombreado 1050 se puede utilizar como dispositivo de sombreado y como boquilla de alimentación de precursor en una cámara de reacción. Puede colocarse sobre un sustrato entre el sustrato y una fuente de fotones. La boquilla de sombreado 1050 comprende un marco de sombreado 1051 con partes sólidas a través de las cuales los fotones emitidos no pueden penetrar y ventanas 1052 a través de las cuales pueden penetrar los fotones emitidos. La forma de las ventanas 1052 depende de la implementación. Una línea de alimentación de precursor 1011' está conectada a la boquilla de sombreado 1050. La línea de alimentación 1011' se ramifica a canales de flujo laterales individuales 1071 que se extienden por todo el marco de sombreado 1051 a lo largo de las partes sólidas. Los canales de flujo 1071 tienen una pluralidad de aberturas (no mostradas) en su superficie inferior para guiar el vapor precursor y/u otro gas de procesamiento hacia abajo, hacia la superficie del sustrato.

La figura 11 muestra una vista lateral de un aparato de ejemplo de conformidad con otra realización. El aparato es un aparato de procesamiento o módulo de deposición de capa atómica adecuado para la deposición continua como parte de una línea de procesamiento.

El aparato comprende una cámara de reacción 1110 que está rodeada por una cámara exterior 1120. Un espacio intermedio entre la cámara exterior 1120 y la cámara de reacción 1110 se presuriza transportando gas de protección inactivo al espacio de modo que haya una ligera sobrepresión en comparación con el interior de la cámara de reacción 1110.

Una primera cámara de transferencia 1130 está unida a un lado de la cámara exterior 1120, y una segunda cámara de transferencia 1130' está unida a un lado opuesto de la cámara exterior 1120. La cámara de reacción 1110 colocada dentro de la cámara exterior comprende un puerto de entrada 1161 en su primer lado y un puerto de salida 1161' en un lado opuesto. El puerto de entrada 1161 y el puerto de salida 1161' pueden formarse como una hendidura en una pared de la cámara de reacción respectiva.

Una banda de sustrato 1101 que se va a revestir se conduce continuamente a través de la primera cámara de transferencia 1130 hacia la cámara exterior 1120, desde allí a través del puerto de entrada 1161 a la cámara de reacción 1110 para la deposición, y desde allí a través del puerto de salida 1161' a una parte opuesta de la cámara exterior 1120, y a través de la segunda cámara de transferencia 1130' a una fase posterior de la línea de procesamiento. En una realización alternativa, la banda de sustrato 1101 es una banda que soporta un conjunto de sustratos 1101' (a revestir) que se desplazan sobre ella. En otra realización alternativa, el sustrato es una hebra o una tira.



El aparato comprende una línea de alimentación de precursor no metálico para transportar vapor precursor no metálico a la cámara de reacción 1110. Un punto de liberación 1111 de vapor precursor no metálico está dispuesto en un lado de la cámara de reacción. El aparato comprende además una línea de alimentación de precursor metálico para transportar vapor precursor metálico a la cámara de reacción 1110. En la figura 11, la línea de alimentación del precursor metálico está unida a una boquilla de sombreado 1150 del tipo descrito anteriormente con referencia a la figura 10. La boquilla de sombreado 1150 comprende canales de flujo 1171 que se extienden lateralmente y que tienen una pluralidad de aberturas en su superficie inferior para guiar el vapor precursor metálico hacia abajo, hacia la superficie del sustrato.

El aparato comprende una fuente de fotones 1140 por encima de la superficie del sustrato para proporcionar exposición a los fotones. La boquilla de sombreado 1150 se aplica entre la fuente de fotones 1140 y la superficie del sustrato. La boquilla de sombreado 1150 comprende una o más ventanas a través de las cuales pueden pasar los fotones emitidos 1141. La forma y el tamaño de las ventanas dependen de la implementación. La exposición a fotones se proporciona a las áreas de la superficie del sustrato que están orientadas hacia la fuente de fotones 1140 detrás de la boquilla de sombreado 1150. La boquilla de sombreado 1150 se puede mover.

El aparato comprende además una bomba de vacío (no mostrada) en una línea de evacuación 1112 para mantener un flujo de salida desde la cámara de reacción 1110.

El aparato comprende una fuente de gas inactiva, una fuente de precursor metálico y una fuente de precursor no metálico. Las fuentes no se muestran en la figura 9. Sin embargo, se puede implementar una disposición correspondiente con respecto a válvulas, etc., como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 5.

Alternativamente, si el aparato funciona de conformidad con el método descrito con referencia a la figura 2, el aparato comprende la fuente de precursor metálico y una segunda fuente de gas de procesamiento. Puede implementarse una disposición correspondiente con respecto a válvulas, etc., como se ha descrito anteriormente con referencia a la figura 6. El punto de liberación de gas 1111 así como la línea de alimentación relacionada se pueden omitir en esta alternativa, si ambos precursores se alimentan a través de la boquilla de sombreado 1150.

Cuando el sustrato 1101 o 1101' avanza diferentes áreas del sustrato están orientadas hacia la fuente de fotones 1140. Un ciclo de deposición de capa atómica se ha descrito en lo anterior con referencia a las figuras 1 y 5 (alternativamente, figuras 2 y 6). Por consiguiente, durante una fase de activación, se evita que la especie precursora metálica fluya hacia la cámara de reacción 1110. La entrada de precursor metálico de la válvula de línea de precursor metálico (figuras 5 y 6; la primera entrada de la válvula 51) está cerrada. Se deja que la especie precursora no metálica fluya hacia la cámara de reacción 1110. La línea de precursor no metálico está abierta (figuras 5; la válvula 52 de la línea de precursor no metálico está abierta) o una ruta desde la segunda fuente de gas de procesamiento (figura 6; ruta a través de las válvulas 50, 54 y 51) en la realización alternativa está abierta.

Las especies precursoras no metálicas en la proximidad de la superficie del sustrato en las áreas que están orientadas hacia la fuente de fotones 1140 (es decir, que no están a la sombra de la boquilla de sombreado 1150) se excitan. Alternativamente, la especie precursora metálica en la superficie del sustrato se excita. En ambas alternativas, la excitación permite la reacción entre la especie precursora metálica adsorbida y la especie precursora no metálica en fase gaseosa. Como resultado, la superficie del sustrato en dichas áreas se satura por las especies precursoras no metálicas.

Durante una fase de regeneración, la línea de alimentación del precursor metálico está abierta, lo que permite que la especie precursora metálica fluya hacia la cámara de reacción a través de la boquilla de sombreado 1150. Asimismo, el precursor no metálico también se alimenta a la cámara de reacción 1110 a través de la línea de alimentación del precursor no metálico (o en la realización alternativa como gas portador a través de la boquilla de sombreado 1150). La especie precursora metálica reacciona con las especies precursoras no metálicas que fueron adsorbidas a la superficie en el periodo de activación. Como resultado, la superficie del sustrato se satura por las especies precursoras metálicas en el área de las especies precursoras no metálicas adsorbidas.

Estos ciclos de deposición se repiten para lograr el espesor deseado. Se pueden omitir los periodos de purga convencionales.

Las características de las realizaciones descritas con referencia a las figuras 1-10 pueden aplicarse a la realización de deposición continua de la figura 11 en la que el sustrato o la banda de sustrato se revistió en su trayectoria a través de la cámara de reacción. Por ejemplo, en lugar de usar la boquilla de sombreado, se puede utilizar un dispositivo de sombreado sin la función de alimentación de gas. En esas realizaciones, la entrada de gas al sustrato puede ser lateral. Asimismo, se puede realizar la realización de deposición continua, por ejemplo, sin ningún dispositivo de sombreado utilizando una fuente de fotones intermitente como se ha descrito anteriormente, o con un dispositivo de sombreado y una fuente de fotones intermitente. Asimismo, las características de la realización de deposición continua se pueden utilizar en las realizaciones presentadas anteriormente en la descripción. Por ejemplo, la boquilla de sombreado se puede utilizar en las otras realizaciones presentadas. Ciertos ejemplos de realizaciones se implementan

sin incluir ninguna cámara de transferencia para carga y/o descarga. Asimismo, ciertas realizaciones de ejemplo se implementan sin incluir una cámara exterior alrededor de la cámara de reacción. La pista formada por el sustrato o la banda de soporte en la realización de deposición continua no necesita ser recta, sino que se puede implementar una pista formada en forma de patrón repetido. La dirección de propagación de la banda se puede cambiar, por ejemplo, mediante rodillos, una pluralidad de veces para formar dicho patrón repetido. Asimismo, la forma de la cámara de reacción puede desviarse de la forma de ejemplo presentada en las figuras. En una realización de deposición continua, la banda se mueve continuamente a velocidad constante. En otras ciertas realizaciones, la banda se mueve periódicamente (p. ej., de manera intermitente) a través de la cámara de reacción.

De acuerdo con una realización de ejemplo, las líneas de alimentación de vapor precursor y gas inactivo de los aparatos descritos anteriormente se implementan mediante las tuberías requeridas y sus elementos de control.

Los elementos de control de la línea de alimentación comprenden elementos de control de flujo y tiempo. En una realización de ejemplo, una válvula de entrada de precursor metálico y un controlador de flujo de masa (o volumen) en una línea de entrada de precursor metálico controlan la sincronización y el flujo del vapor precursor metálico a la cámara de reacción. En consecuencia, una válvula de entrada de precursor no metálico y un controlador de flujo de masa (o volumen) en la línea de alimentación de precursor no metálico controlan la sincronización y el flujo del vapor precursor no metálico a la cámara de reacción. Por último, una válvula de línea de gas inactiva y un controlador de flujo de masa (o volumen) controlan la sincronización y el flujo de gas inactivo. En un ejemplo en el que se utiliza gas inactivo como gas portador, puede haber diferentes elementos de control como se muestra con referencia a la figura 6.

En una realización de ejemplo, los elementos de control de la línea de alimentación forman parte de un sistema controlado por ordenador. Un programa informático almacenado en una memoria del sistema comprende instrucciones, que tras la ejecución por al menos un procesador del sistema provocan que el aparato de revestimiento, o el reactor de deposición, funcione según las instrucciones. Las instrucciones pueden estar en forma de código de programa legible por ordenador. La figura 12 muestra un diagrama de bloques aproximado de un sistema 1200 de control de un aparato de deposición de conformidad con una realización de ejemplo. En una configuración básica del sistema, los parámetros del proceso se programan con la ayuda de software y las instrucciones se ejecutan con un terminal 1206 de interfaz hombre-máquina (HMI) y se descargan a través de un bus de comunicaciones 1204, tal como un bus Ethernet o similar, a una caja de control 1202 (unidad de control). En una realización, la caja de control 1202 comprende una unidad de control lógico programable (PLC) de propósito general. La caja de control 1202 comprende al menos un microprocesador para ejecutar el software de la caja de control que comprende un código de programa almacenado en una memoria, memorias dinámicas y estáticas, módulos de E/S, convertidores A/D y D/A y relés de potencia. La caja de control 1202 envía energía eléctrica a los controladores neumáticos de las válvulas apropiadas y controla los controladores de flujo másico del aparato. La caja de control controla el funcionamiento de la fuente de fotones y la bomba de vacío. La caja de control controla aún más cualquier dispositivo de movimiento necesario para mover el(los) sustrato(s) y/o cualquier dispositivo de sombreado móvil. La caja de control 1202 recibe información de los sensores apropiados y generalmente controla el funcionamiento general del aparato. En ciertas realizaciones de ejemplo, la caja de control 1202 controla la alimentación de especies precursoras en la cámara de reacción de manera que tanto las especies precursoras metálicas como las especies no metálicas estén presentes en fase gaseosa en la cámara de reacción simultáneamente. La caja de control 1202 puede medir y transmitir lecturas de sonda desde el aparato al terminal HMI 1206. Una línea de puntos 1216 indica una línea de interfaz entre las partes del reactor del aparato y la caja de control 1202.

Sin limitar el alcance y la interpretación de las reivindicaciones de la patente, se enumeran a continuación ciertos efectos técnicos de una o más de las realizaciones de ejemplo divulgadas en este documento: Un efecto técnico es un nuevo tipo de ciclo de deposición mediante el cual se puede lograr una tasa de deposición de capa atómica más rápida (deposición de capa atómica rápida). Otro efecto técnico es la menor temperatura de procesamiento requerida debido a la exposición a los fotones. Otro efecto técnico es el uso de productos químicos simplificado mediante el uso de un segundo gas de procesamiento como gas precursor y portador.

Cabe señalar que algunas de las funciones o etapas del método discutidas anteriormente se pueden realizar en un orden diferente y/o simultáneamente entre sí. Asimismo, una o más de las funciones o etapas del método descritas anteriormente pueden ser opcionales o pueden combinarse.

En el contexto de esta solicitud, el término ALD comprende todas las técnicas basadas en ALD aplicables y cualquier tecnología equivalente o estrechamente relacionada, tal como, por ejemplo, técnica MLD (Deposición de Capa Molecular).

La descripción anterior ha proporcionado a modo de ejemplos no limitativos de implementaciones y realizaciones particulares de la invención una descripción completa e informativa del mejor modo contemplado actualmente por los inventores para llevar a cabo la invención. Sin embargo, está claro para un experto en la materia que la invención no se limita a los detalles de las realizaciones presentadas anteriormente, sino que se puede implementar en otras realizaciones utilizando medios equivalentes sin alejarse de las características de la invención. Cabe señalar que se ha utilizado una especie precursora metálica como ejemplo para la primera especie precursora, y una especie

precursora no metálica como ejemplo para la segunda especie precursora. Sin embargo, esto no debe considerarse limitante. El primer precursor puede ser alternativamente un precursor no metálico. Ambos precursores pueden ser, por ejemplo, precursores no metálicos, etc. La elección de los precursores solo depende de la implementación particular y/o del material de revestimiento deseado.

- 5 Asimismo, algunas de las características de las realizaciones de esta invención divulgadas anteriormente pueden usarse de manera ventajosa sin el uso correspondiente de otras características. Como tal, la descripción anterior debe considerarse meramente ilustrativa de los principios de la presente invención y no como limitación de los mismos. Por lo tanto, el alcance de la invención solo está restringido por las reivindicaciones de patente adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un método, que comprende:

realizar una secuencia de deposición de capa atómica que comprende al menos un ciclo de deposición, produciendo cada ciclo una monocapa de material depositado, comprendiendo el ciclo de deposición introducir al menos una primera especie precursora y una segunda especie precursora a la superficie de un sustrato en una cámara de reacción, en donde las primera y segunda especies precursoras están presentes simultáneamente en fase gaseosa en dicha cámara de reacción, y en donde el ciclo de deposición comprende un periodo de activación y un periodo de regeneración, y en el método:

durante el periodo de activación, la primera especie precursora adsorbida a la superficie del sustrato en un periodo de regeneración anterior es excitada por energía fotónica, por lo que la primera especie precursora adsorbida reacciona en la superficie con la segunda especie precursora que está en fase gaseosa;

y

durante un periodo de regeneración posterior, la primera especie precursora que está en fase gaseosa reacciona con la segunda especie precursora adsorbida a la superficie en el periodo de activación.

2. El método de la reivindicación 1, en donde la segunda especie precursora se usa como gas portador para el primer gas precursor.

3. El método de las reivindicaciones 1 o 2, en donde la excitación se implementa mediante fotones emitidos por una fuente de fotones que se selecciona de un grupo que comprende: una lámpara UV, una lámpara LED, una lámpara de xenón, una fuente de rayos X, una fuente de láser y una fuente de infrarrojos.

4. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde el sustrato se selecciona de un grupo que comprende: una oblea, lámina metálica, banda de sustrato, papel y nanocelulosa.

5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la primera especie precursora se excita ajustando la longitud de onda de los fotones.

6. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde el método comprende desconectar la exposición a fotones mediante un dispositivo de sombreado o boquilla de sombreado.

7. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la cámara de reacción está rodeada por una cámara exterior, comprendiendo el método: presurizar un espacio intermedio entre la cámara exterior y la cámara de reacción transportando gas inactivo al espacio intermedio de modo que haya una sobrepresión en el espacio intermedio en comparación con la presión en el interior de la cámara de reacción.

8. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde el flujo de la primera especie precursora a la cámara de reacción está desconectado durante el periodo de activación y está conectado durante los periodos de regeneración, y el flujo de la segunda especie precursora a la cámara de reacción está conectado tanto durante el periodo de activación como durante el periodo de regeneración.

9. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde las reacciones son reacciones en superficie autosaturadas secuenciales.

10. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde el primer precursor es un precursor metálico y el segundo precursor es un precursor no metálico.

11. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde los ciclos de deposición se realizan sin realizar periodos de purga.

12. Un aparato, que comprende:

una cámara de reacción;

al menos una línea de alimentación; y

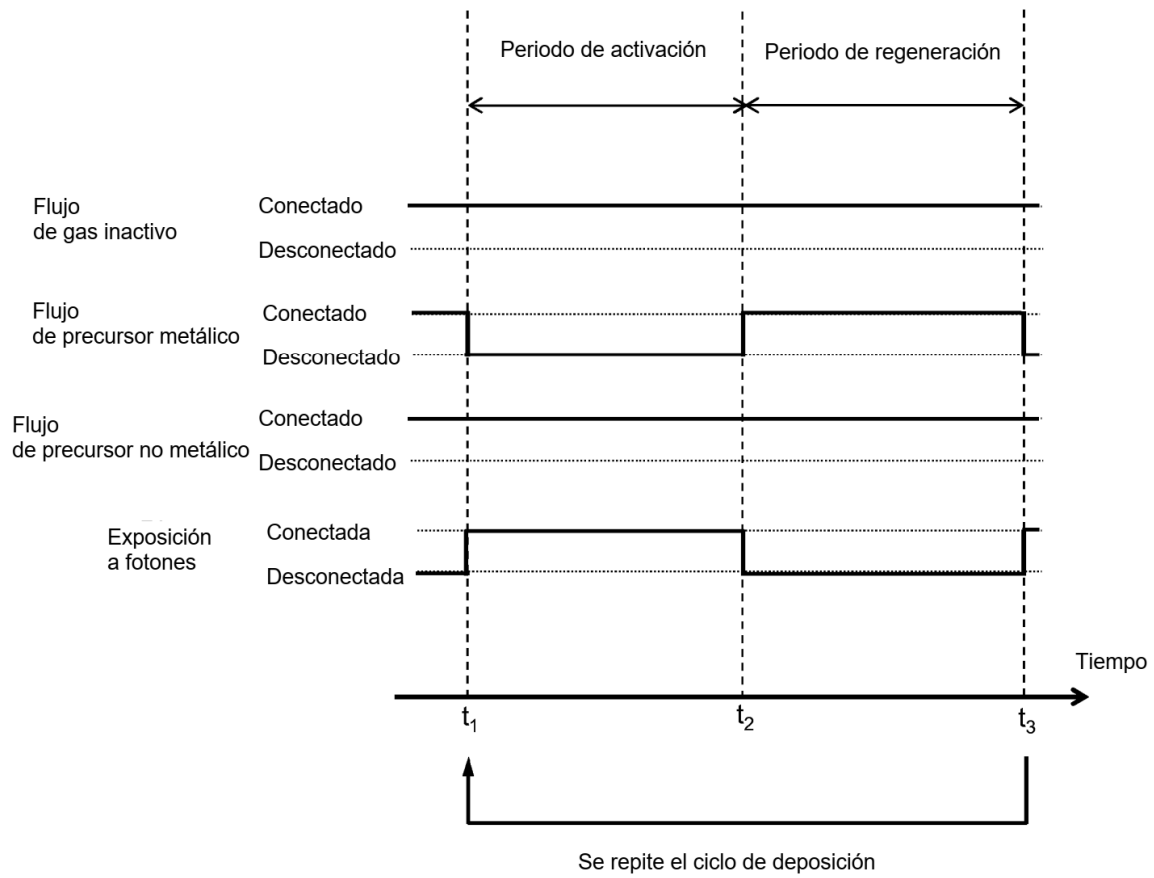
un sistema de control configurado para controlar el aparato para realizar una secuencia de deposición de capa atómica que comprende al menos un ciclo de deposición en la cámara de reacción, produciendo cada ciclo una monocapa de material depositado, comprendiendo el ciclo de deposición introducir al menos una primera especie precursora y una segunda especie precursora a través de dicha al menos una línea de alimentación a una superficie del sustrato en la cámara de reacción, en donde el sistema de control está configurado además para controlar que el vapor precursor de dichas primera y segunda especies precursoras está presente en fase gaseosa simultáneamente en dicha cámara de reacción, y en donde el ciclo de deposición comprende un periodo de activación y un periodo de regeneración, y el aparato comprende una fuente de fotones para excitar,

durante el periodo de activación por energía fotónica, la primera especie precursora adsorbida a la superficie del sustrato en un periodo de regeneración anterior, por lo que la primera especie precursora adsorbida reacciona en

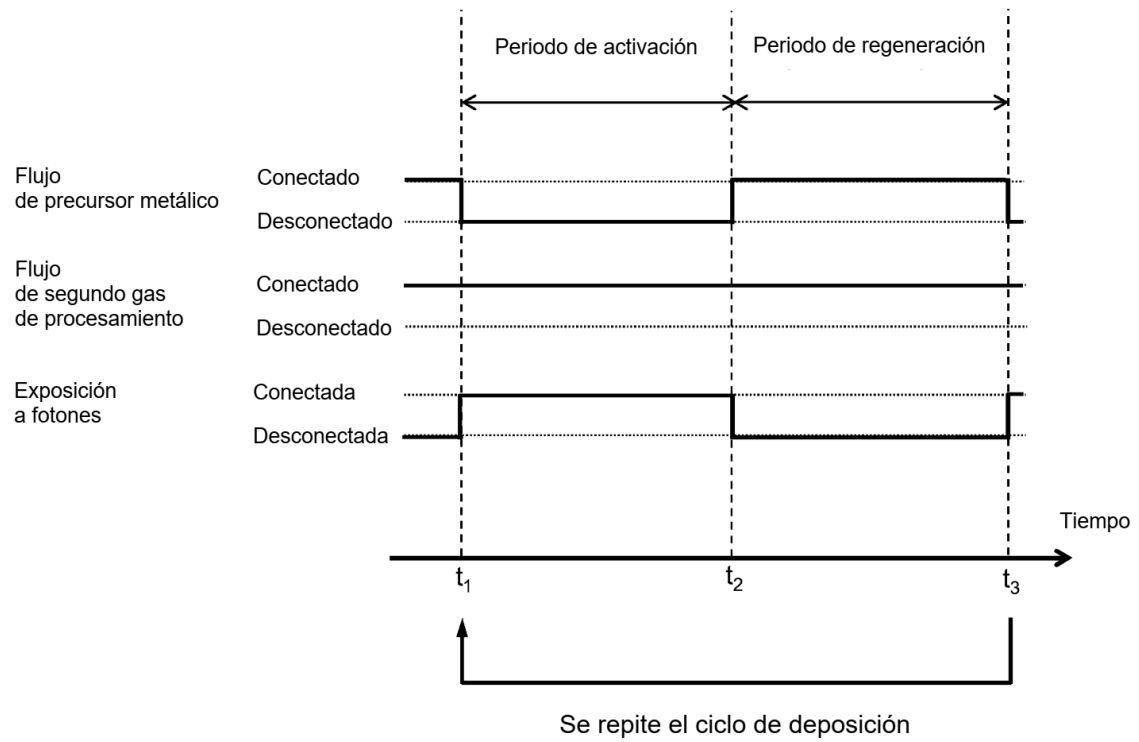
la superficie con la segunda especie precursora que está en fase gaseosa, estando configurado el aparato además para causar:

durante un periodo de regeneración posterior, que la primera especie precursora que está en fase gaseosa reaccione con la segunda especie precursora adsorbida a la superficie en el periodo de activación.

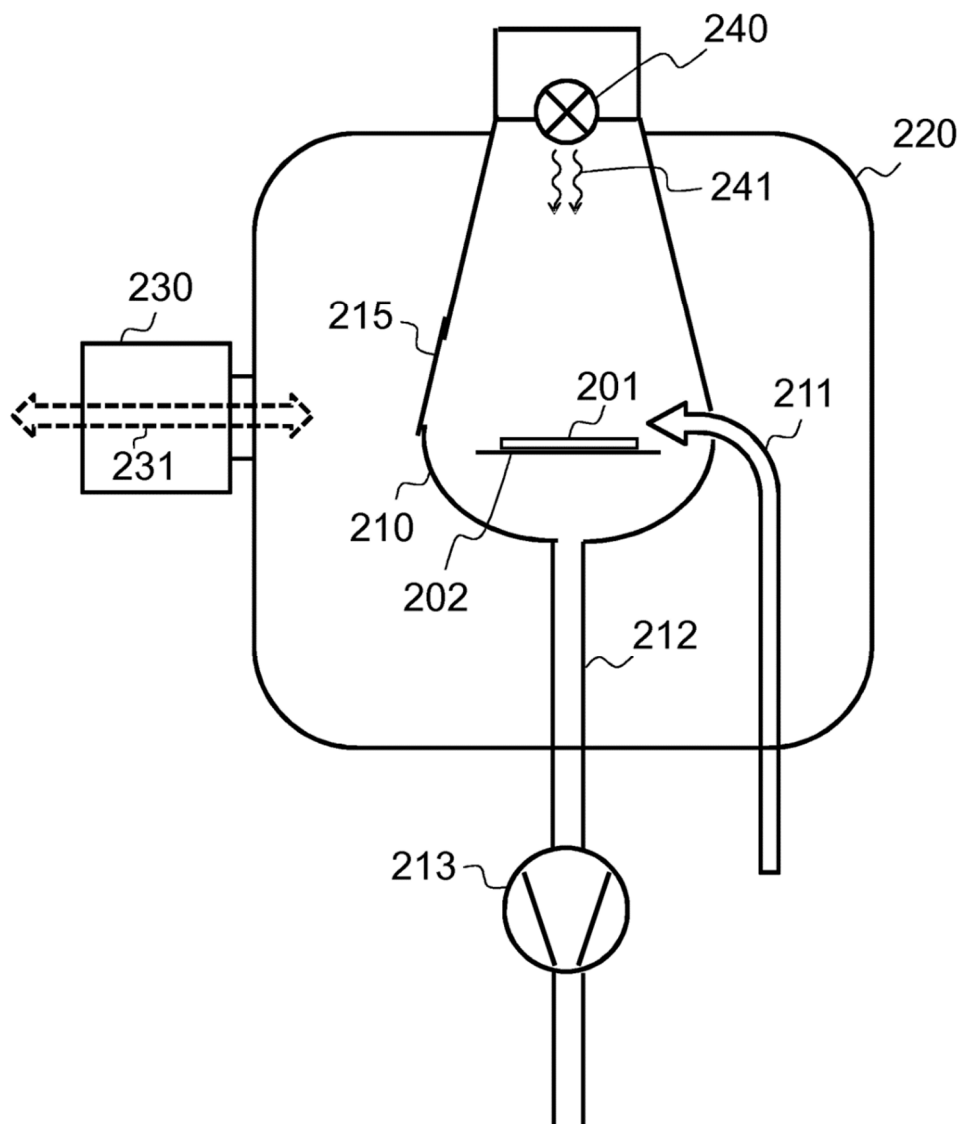
- 5
13. El aparato de la reivindicación 12, que comprende una boquilla de sombreado colocada sobre el sustrato entre el sustrato y la fuente de fotones utilizada como dispositivo de sombreado y como boquilla de alimentación de precursor en la cámara de reacción.
- 10
14. El aparato de cualquier reivindicación anterior 12-13, en donde las reacciones son reacciones en superficie autosaturadas secuenciales.
- 15
15. El aparato de cualquier reivindicación anterior 12-14, en donde el primer precursor es un precursor metálico y el segundo precursor es un precursor no metálico.
16. El aparato de cualquier reivindicación anterior 12-15, en donde el sistema de control está configurado para controlar que los ciclos de deposición se realicen sin realizar periodos de purga.



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



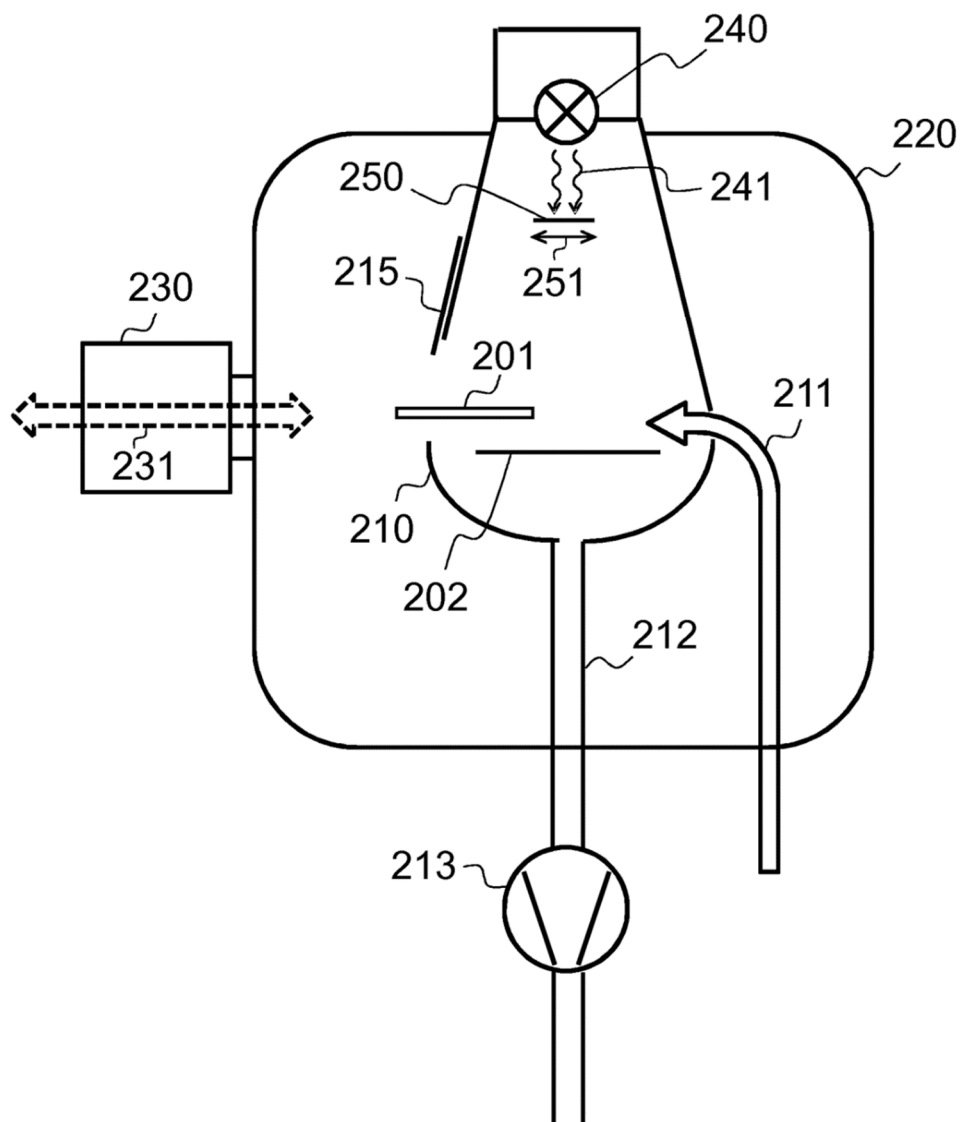


Fig. 4

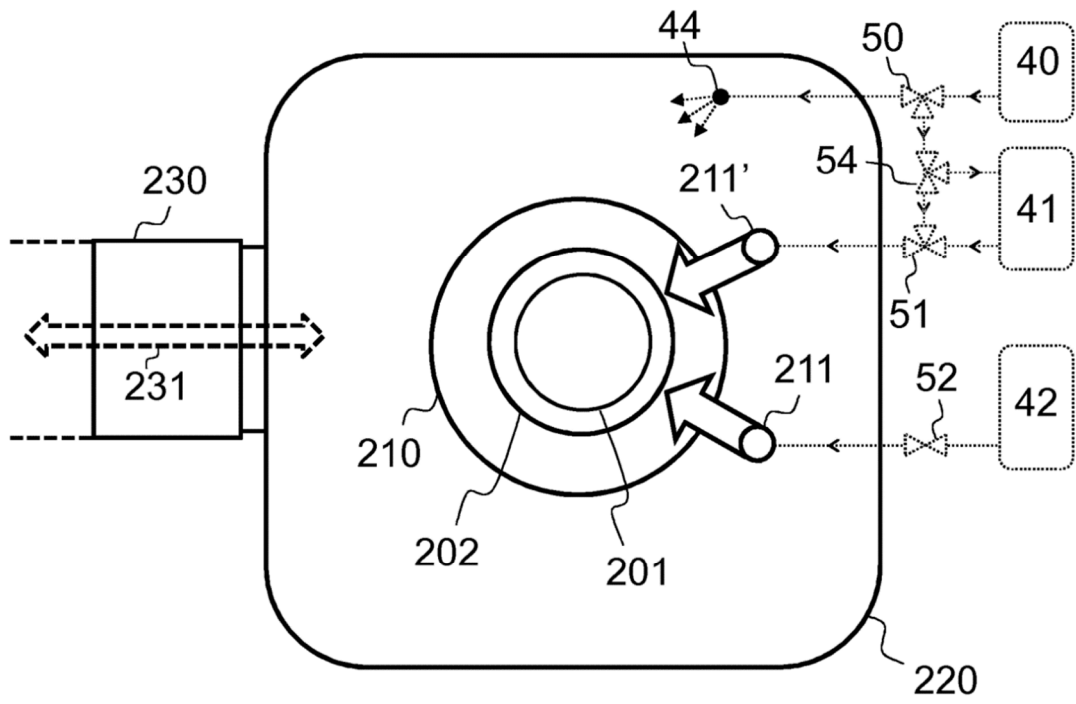


Fig. 5

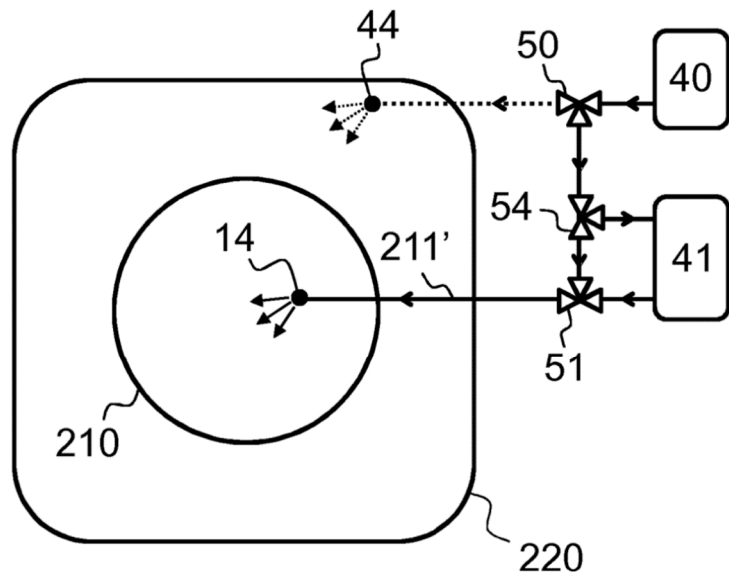
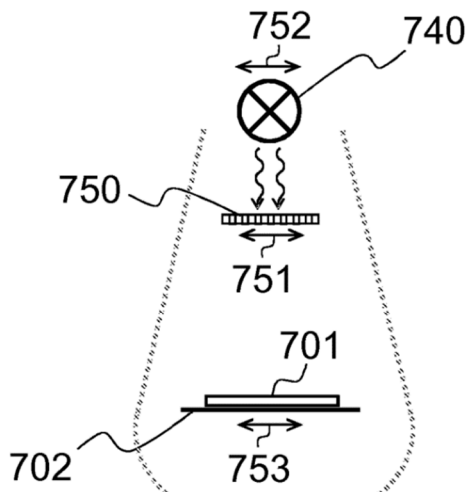
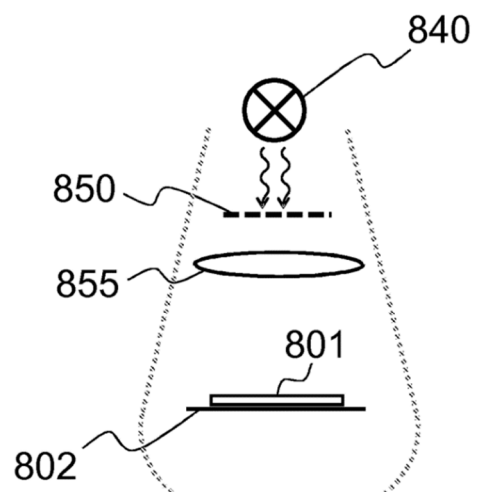


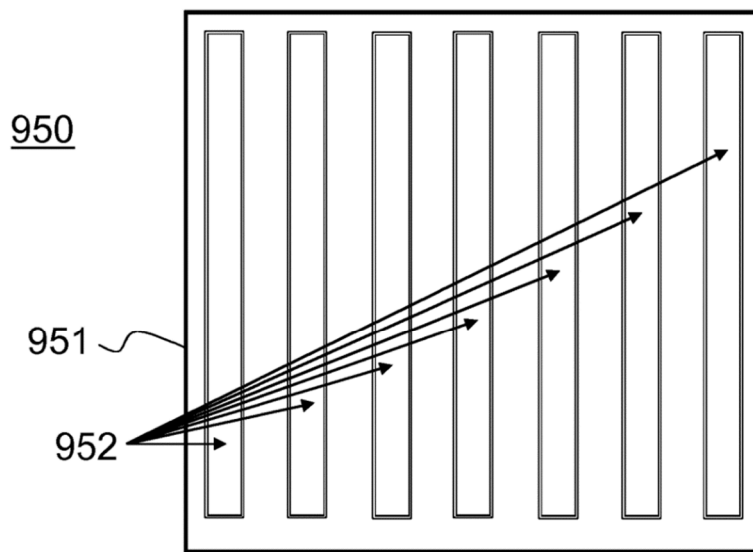
Fig. 6



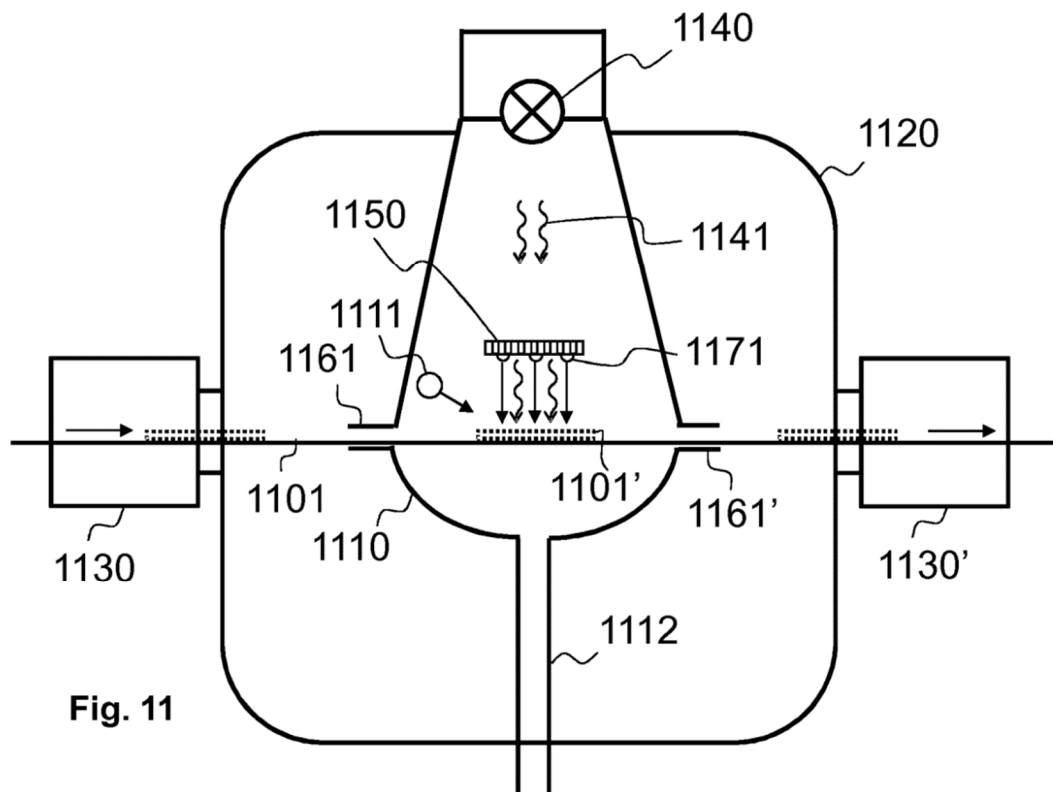
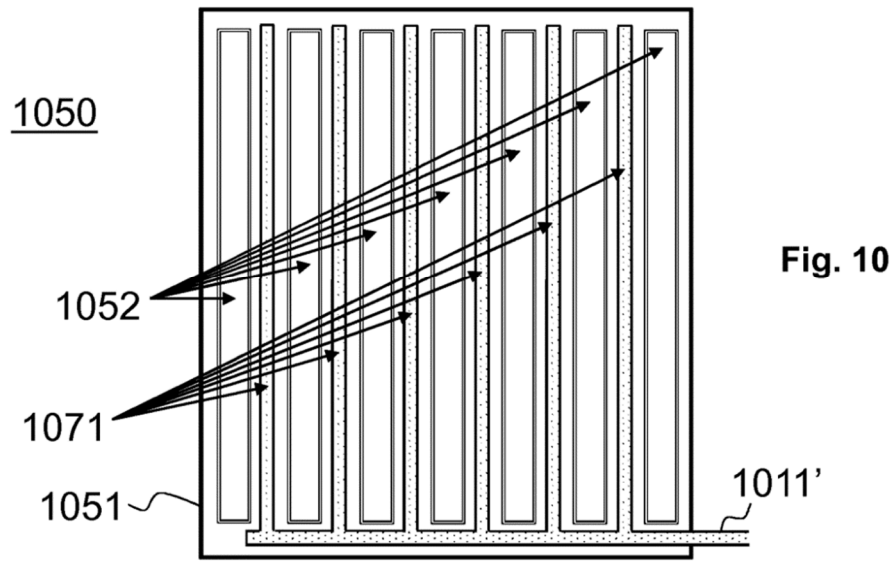
**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**



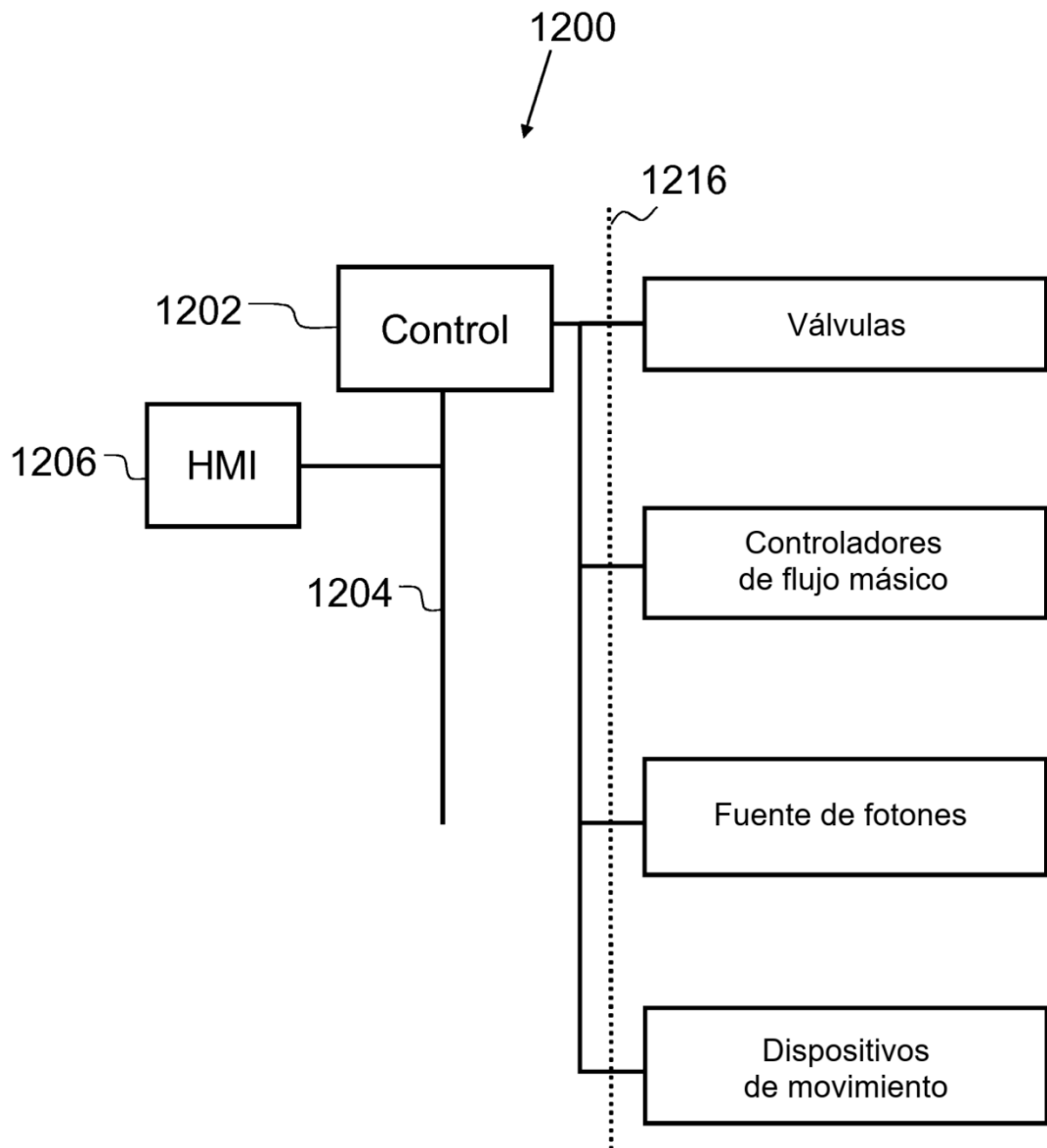


Fig. 12