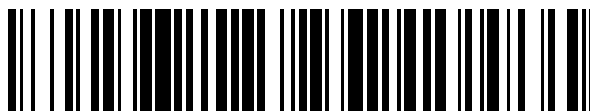


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 513**

51 Int. Cl.:
B81C 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07789096 .0**
96 Fecha de presentación: **02.08.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2046677**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.04.2009**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE ATAQUE DE UNA CAPA DE SACRIFICIO DE ÓXIDO DE SILICIO.**

30 Prioridad:
02.08.2006 GB 0615343

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2012

73 Titular/es:
**Memsstar Limited
Starlaw Park Starlaw Road
Livingston EH54 8SF , GB**

72 Inventor/es:
O'HARA, Anthony

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 375 513 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de ataque de una capa de sacrificio de óxido de silicio

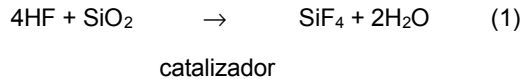
5 La presente invención se refiere a un procedimiento para uso en la fabricación de microestructuras. De forma típica, las microestructuras están en forma de sistemas microelectromecánicos (MEMS) que requieren la eliminación de un material con respecto al sustrato u otro material depositado. En particular, esta invención se refiere a un procedimiento mejorado para el control del procedimiento de ataque implicado en la fabricación de estas microestructuras.

10 El ataque isotrópico de óxidos de silicio se usa ampliamente en el procesado de semiconductores y MEMS, principalmente en la limpieza de las obleas y en procesos de liberación. Con fines de ilustración, la Figura 1 presenta una representación esquemática de una estructura 1 MEMS parcialmente atacada que comprende una capa 2 de óxido de silicio (de aproximadamente 1 µm de grosor) localizada entre un sustrato 3 que contiene silicio y una capa 4 de liberación.

15 Como es conocido por los expertos en la técnica, se pueden depositar o hacer crecer una diversidad de óxidos de silicio en estos dispositivos empleando diversas técnicas. Estos óxidos de silicio pueden estar sin dopar, o dopados con una diversidad de dopantes, por ejemplo, boro o fósforo. Los óxidos de silicio útiles típicos incluyen vidrio de fosfosilicato (PSG); vidrio de borofosfosilicato (BPSG); óxido de silicio depositado desde tetraetoxisilano (TEOS). Las diversas capas de óxido de silicio tienen diferentes propiedades que dependen del tipo de película y de la técnica usada en su deposición. Una propiedad de particular interés es cómo puede ser la capa de higroscópica o densa. En la práctica, se ha encontrado que óxidos de silicio dopados de diversas formas, o conformados, pueden variar con relación a la cantidad de humedad absorbida o adsorbida en la película o sobre su superficie durante un posterior proceso de ataque.

Las capas de liberación 4 son de forma típica estructuras formadas a partir de polisilicio o metales, por ejemplo, aluminio o cobre. En el presente ejemplo se muestran como estructuras con forma de T, no obstante, como se apreciará por los expertos en la técnica, se pueden emplear de forma alternativa una diversidad de estructuras.

25 Históricamente, los procesos de ataque isotrópico de óxidos de silicio estaban basados en el uso de líquidos, usando fundamentalmente diversas concentraciones de ácido fluorhídrico debido al ataque altamente selectivo del dióxido de silicio cuando se comparaba con el silicio. Esta reacción se describe por la siguiente ecuación (1):



30 El ataque en húmedo implica la completa inmersión de la muestra en un baño que contiene la concentración adecuada de ácido fluorhídrico. Este es un proceso deseable puesto que produce elevadas velocidades de ataque, de forma típica -10 000 Å/min, aunque la velocidad exacta depende de la forma real de la estructura 1 MEMS.

35 Sin embargo, el procesado de liberación en húmedo adolece de algunos problemas fundamentales. El principal problema es la fricción estática inducida por capilaridad. Cuando se completa el ataque debe retirarse el líquido atacante. Con frecuencia, esto se realiza usando una técnica de secado sencilla. Sin embargo, cuando se retira el líquido, la tensión superficial del líquido que queda puede unir estructuras adyacentes entre sí. Cuando estas estructuras tocan las fuerzas superficiales, en forma de fuerzas de van der Waals, pueden ser lo suficientemente fuertes para que las superficies no se separen. Se han desarrollado técnicas para sortear este problema empleando secado en el punto crítico.

40 Otra característica problemática del ataque con ácido fluorhídrico en húmedo se refiere al hecho de que la selectividad del ácido fluorhídrico con materiales no constituidos por silicio es con frecuencia no tan buena como lo es con respecto al silicio. En particular, es conocido que el ácido fluorhídrico corroe muchos metales empleados habitualmente durante el ataque, por ejemplo, aluminio y cobre. Como resultado, el ataque en húmedo puede también dar como resultado un daño no deseado a la estructura 1 MEMS y en particular corrosión de las superficies expuestas de la capa 4 de liberación.

45 Una alternativa al ataque en húmedo es el ataque en seco o ataque en fase vapor. Estas técnicas de ataque son a veces empleadas por los expertos en la técnica puesto que son conocidas por minimizar o eliminar los efectos de la fricción estática. En estas técnicas, se libera fluoruro de hidrógeno anhidro gas a una cámara de proceso en la que se puede producir el ataque. Para que se produzca el ataque debe estar presente un catalizador que también se libera en forma gaseosa.

El enfoque del ataque seco descrito en la actualidad en la técnica entra dentro de dos regímenes distintos, uno en el que se utiliza un vapor de agua como catalizador para la reacción, y otro en el que se usa un alcohol, tal como metanol, como catalizador. Estos dos enfoques dan lugar a dos condiciones de procesado diferenciadas, ambas con sus beneficios e inconvenientes.

El uso de vapor de agua como catalizador da lugar invariablemente a una capa 5 de líquido condensado que se produce alrededor de todas las superficies expuestas de la mezcla, como se representa de forma esquemática en la Figura 1. El HF gas y el vapor de agua se suministran a la cámara de proceso para inducir el ataque. Puesto que la relación de ataque también produce vapor de agua esto origina con frecuencia un exceso de vapor de agua presente. En estas técnicas no se ha previsto un dispositivo para controlar el vapor de agua dentro de la cámara, y en particular, en la muestra. Como resultado existe un riesgo significativo de fricción estática inducida por capilaridad debida a la presencia de la capa 5 de líquido condensado. Por otro lado, a medida que transcurre el ataque y la estructura liberada en algunos casos se hace más flexible, los cambios en la fricción estática inducida por capilaridad aumentan aun más. Se cree por los expertos en la técnica que en este punto es más aconsejable eliminar la capa 5 de líquido condensado y esto se puede realizar retirando el suministro de vapor de agua a la cámara de proceso.

Este proceso, en el que hay un exceso incontrolado de vapor de agua 3 se puede considerar en muchos aspectos que es similar al ataque anteriormente descrito por vía húmeda. Produce altas velocidades de ataque pero adolece de corrosión metálica y no reduce de forma significativa la posibilidad de la aparición de fricción estática inducida por capilaridad.

En la ataque seco con catalizador de vapor de agua y el ataque en húmedo con HF también presentan otras características problemáticas. Un problema intrínseco adicional con estos procesos de ataque es que a medida que transcurre en la ataque, se forman residuos adherentes como subproductos sobre el sustrato 3 y la capa 4 liberada. Es conocido que los residuos son particularmente problemáticos cuando se ataca un óxido para exponer una superficie de nitruro de silicio. La presencia de estos residuos puede dar lugar a fuerzas de van der Waals y a atracción electrostática entre la capa 4 liberada y el sustrato 3. Esas fuerzas de atracción causan el colapso de la estructura 1 MEMS. En efecto, las estructuras con forma de T se curvan bajo estas fuerzas de atracción hacia el sustrato, y luego se adhieren al mismo, con frecuencia de forma permanente.

Cuando se emplea alcohol como catalizador en un proceso de ataque seco la reacción resultante se describe de nuevo por la ecuación (1). En este régimen, las condiciones de la cámara se fijan para garantizar que no se forme en absoluto capa 5 de líquido condensado sobre la estructura 1 MEMS. Esto está apoyado por el uso de alcohol como catalizador, puesto que los alcoholes presentan menores presiones de vapor que el agua y además actúan reduciendo las fuerzas de capilaridad. Sin embargo, los rendimientos asociados a estos procesos son bajos puesto que las velocidades de ataque asociadas son de nuevo significativamente menores que con las técnicas de ataque en húmedo, un hecho que se refleja en los sistemas conocidos en la técnica.

La publicación de patente publicada EP1081093 A2 enseña el ataque de una capa de óxido de silicio situada entre una capa de sustrato y una capa que se va a liberar. El procedimiento comprende exponer la capa de óxido a un vapor de fluoruro de hidrógeno en una cámara de proceso. El documento enseña que la presión parcial del vapor de fluoruro de hidrógeno, la presión parcial del agua y la temperatura de la microestructura que se va a atacar deben ser controlados con el fin de reducir los residuos de ataque. Por otro lado, se explica que se forma una película de agua sobre el óxido durante la mayor parte del ataque siempre que la temperatura del sustrato se elija de forma apropiada.

La patente de Estados Unidos número 6 740 247 a nombre del Massachusetts Institute of Technology enseña un ejemplo de una limpieza de una oblea con vapor de HF modificado y una técnica de ataque con óxido. Esta técnica controla las condiciones de presión y temperatura de una cámara de proceso, a la cual se añaden fluoruro de hidrógeno gas y vapor de agua, tal que no se forma sobre el sustrato más que una submonocapa (~1 - 5 Å de profundidad) de los reaccionantes de ataque y productos producidos por el vapor que se procesan dentro de la cámara. Como se describe por los autores, este proceso da lugar a una velocidad de ataque del orden de 10 Å/min. Así, aunque se produce para obleas de soporte un proceso de ataque y limpieza muy uniforme, reproducible y previsible, las velocidades de ataque resultantes producidas están demasiado lejos de emplearse de forma viable en una aplicación comercial. Además, el procedimiento descrito no se puede adaptar fácilmente al uso de estructuras 1 MEMS más complejas, por ejemplo, las del tipo mostrado en la Figura 1.

La patente de Estados Unidos número 6 936 183 a nombre de Applied Materials Inc. enseña un procedimiento en dos etapas para liberar una estructura MEMS de un sustrato. La primera etapa comprende el ataque de forma isotrópica de una capa de óxido de silicio interpuesta entre dos capas que contiene silicio mediante un procedimiento de ataque con HF seco con agua como catalizador y durante un tiempo suficiente para formar una abertura, pero no suficiente para liberar la capa superpuesta. La segunda etapa comprende entonces cambiar a un procedimiento de ataque seco basado en un catalizador totalmente alcohólico mediante la adición de un agente de secado para sustituir la humedad que queda en la abertura y disolver cualquier residuo en la abertura que pueda causar fricción estática.

El procedimiento descrito proporciona velocidades de ataque mayores que las que se producen con los procesos ataque totalmente seco con un catalizador de alcohol o con el procedimiento descrito en la patente de los Estados Unidos número 6 740 247. No obstante, puesto que se emplea un cambio periódico a un proceso de ataque seco basado en un catalizador de alcohol, las velocidades de ataque son todavía menores que las que se consiguen con procesos de ataque totalmente húmedo. Además, esta técnica es una solución ciertamente problemática que requiere un conocimiento detallado de la estructura que se está produciendo de modo que se pueda obtener la

correcta programación para el cambio entre las etapas. Como será fácilmente aparente, tales conocimientos anteriores de la estructura MEMS que se va a atacar no siempre están disponibles. Por otro lado, la fase de ataque con HF con vapor de agua como catalizador no presenta un control aparente de la formación de la capa 6 de líquido condensado por las mismas razones que se han descrito antes. Así, de nuevo hay un exceso de vapor de agua y de nuevo se forma la capa 5 de líquido condensado sobre todas las superficies expuestas durante esta fase del proceso.

Por tanto es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento fiable para liberar una característica de una microestructura al mismo tiempo que se mantiene una alta velocidad de ataque.

Sumario de la invención

10 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento para liberar una microestructura especificada en la reivindicación 1.

15 El control cuidadoso de las cantidades de vapor de fluoruro de hidrógeno introducido en la cámara, así como la selección de las condiciones de temperatura y presión, proporciona un medio para que el HF reaccione con las superficies expuestas de la capa de óxido de silicio. Un subproducto de esta reacción es la propia agua. Por tanto, esta fuente intrínseca de agua se puede utilizar para aislar la capa de líquido condensada por el ataque a las superficies expuestas de la capa de óxido de silicio y así no se produce capa de líquido condensada en lugares no deseados dentro de la microestructura. Esto proporciona el beneficio de reducir el riesgo de los efectos de fricción estática o corrosión de materiales de la capa de liberación incompatibles.

20 Preferentemente, el procedimiento comprende además la etapa de exponer la capa de óxido de silicio a vapor de agua.

En la práctica se ha encontrado que puede ser requerido vapor de agua para iniciar el proceso de ataque. Por otro lado, también puede ser útil disponer de acceso a una fuente de vapor de agua externa para proporcionar un control adicional a la velocidad de ataque, es decir, se puede introducir vapor de agua si la velocidad de ataque de la capa de óxido disminuye por debajo de un valor previamente determinado.

25 Lo más preferentemente, el procedimiento comprende además la formación de la capa de líquido condensado que tiene una profundidad de al menos 10 Å. preferentemente, la capa de líquido condensado tiene una profundidad de al menos 100 Å.

Preferentemente, el procedimiento comprende además la formación de la capa del líquido condensado que tiene una profundidad menor de un valor máximo previamente determinado.

30 El valor máximo previamente determinado se define por las dimensiones físicas de la microestructura que se va a atacar y se elige con el fin de minimizar los riesgos de fricción estática inducida por capilaridad. De forma típica, el valor máximo predeterminado será del orden de 0,2 μm.

35 Lo más preferentemente el procedimiento comprende además la etapa de monitorizar la profundidad de la capa de líquido condensado. De preferencia el procedimiento comprende además ajustar uno o más parámetros de la cámara de proceso de modo que se mantenga la profundidad de la capa del líquido condensado entre 10 Å y el valor máximo predeterminado.

Preferentemente, la etapa de monitorizar la profundidad de la capa de líquido condensado comprende la etapa de monitorizar la velocidad de ataque de la capa de óxido de silicio.

40 Lo más preferentemente, la etapa de monitorizar la velocidad de ataque, comprende la etapa de monitorizar la temperatura de la estructura micromecánica. Esta es una opción viable para monitorizar la profundidad de la capa de líquido condensado puesto que la reacción de ácido fluorhídrico y óxido de silicio es un proceso exotérmico.

Lo más preferentemente, la etapa de ajustar uno o más parámetros de la cámara de proceso comprende la selección de una o más etapas del siguiente grupo de etapas que comprende:

- a) alterar la temperatura de la estructura micromecánica;
- 45 b) alterar la presión de la cámara de proceso;
- c) alterar la presión parcial del vapor de agua;
- d) exponer la capa de óxido de silicio a un vapor de alcohol (por ejemplo, vapor de metanol vapor de alcohol isopropílico); y
- e) alterar la presión parcial del vapor de HF.

50 Opcionalmente, el procedimiento comprende además a la etapa de oxidar las superficies expuestas de la capa de

óxido de silicio. Oxidar las superficies expuestas de la capa de óxido de silicio tiene la ventaja de que esto hace estas superficies más hidrófilas. Esto ayuda a que la capa de líquido condensado se humecte produciendo así una capa más fina y más homogénea y mejorando de este modo la uniformidad de ataque al mismo tiempo que se reduce el grosor de la capa del líquido condensado.

- 5 Preferentemente la etapa de oxidar las superficies expuestas de la capa de óxido de silicio comprende exponer estas superficies a un plasma de oxígeno.

Preferentemente el procedimiento comprende además la etapa de exponer la microestructura a una química de plasma reactivo. Esta etapa permite que el plasma reaccione con cualquier residuo por ejemplo, boro y fósforo produciendo compuestos volátiles que son gaseosos y de modo se pueden eliminar fácilmente de la estructura.

- 10 Opcionalmente el procedimiento comprende además la etapa de introducir un vapor orgánico en las superficies expuestas mediante el proceso de ataque de modo que éstas se vuelvan hidrófilas. Esta etapa actúa impidiendo que se deposite agua sobre la superficie expuesta reduciendo de este modo el riesgo de fricción estática inducida por capilaridad. Vapores orgánicos adecuados para esta etapa incluyen 2-[metoxi(polietileno)propil]heptametiltrisiloxano.
- 15 De forma alternativa, el procedimiento comprende además la etapa de introducir vapor orgánico en las superficies expuestas por el proceso de ataque de forma que éstas se vuelvan hidrófobas. Esta etapa actúa impidiendo que se forme agua sobre las superficies expuestas que son susceptibles de corrosión. Vapores orgánicos adecuados para esta etapa incluyen tridecafluoro-1,1,2,2-tetrahidrooctil-triclorosilano y heptadecafluoro-1,1,2,2-tetrahidrodeciltriclorosilano.

20 Breve descripción de los dibujos

Aspectos y ventajas de la presente invención serán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción detallada y por referencia a las siguientes figuras en las que:

- FIGURA 1 presenta una representación esquemática de un ataque seco que emplea un catalizador de vapor de agua de una estructura MEMS que comprende una capa de óxido de silicio dispuesta entre un sustrato que contiene silicio y una capa de liberación;
- 25 FIGURA 2 presenta una representación esquemática de la estructura MEMS de la Figura 1 que se ataca de acuerdo con el procedimiento de un aspecto de la presente invención;
- FIGURA 3 presenta una representación esquemática de la formación de una capa de líquido condensado de la estructura MEMS parcialmente atacada de la Figura 2;
- 30 FIGURA 4 presenta un gráfico que ilustra la concentración de vapor de agua frente a la distancia desde la superficie de la capa de óxido de silicio;
- FIGURA 5 presenta un gráfico que ilustra los efectos de la presión y temperatura de la cámara sobre la velocidad de ataque con HF en la cámara de la Figura 2; y
- 35 FIGURA 6 presenta una representación esquemática de un sistema de cámara de proceso adecuado para llevar a cabo el procedimiento de liberación de una característica desde una estructura MEMS de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

Descripción específica

- La Figura 2 presenta una representación esquemática y una microestructura parcialmente atacada, a saber, una estructura 1 MEMS, que es atacada de acuerdo con un procedimiento de un aspecto de la presente invención. La estructura 1 MEMS es de la misma forma que la presentada previamente en la Figura 1 y por tanto, con fines de claridad, se emplean números de referencia similares en ésta figura y a lo largo de siguiente descripción, por ejemplo, una capa 2 de óxido de silicio dispuesta entre un sustrato 3 que contiene silicio y una capa 4 de liberación formada de aluminio.

- 45 El siguiente procedimiento de ataque descrito se basa en el control cuidadoso de las condiciones de una cámara de proceso (descrito con detalle más adelante) para proporcionar una formación y posterior control exactos de la capa 5 de líquido condensado sólo sobre las superficies de la capa 2 de óxido expuestas al ataque.

- Como se detalla en la Ecuación (1), el agua es un subproducto del ataque de un óxido de silicio. Como resultado, la profundidad de la capa 5 de líquido condensado se ve influenciada por el material que está siendo atacado puesto que la cantidad de agua producida como subproducto depende del óxido particular que está siendo atacado. Sin embargo, independientemente del óxido de silicio que esté siendo atacado, las condiciones de la cámara se pueden disponer de forma que el agua subproducto producida sea la fuente principal de agua requerida para la formación de la capa 5 de líquido condensado. Así, esta fuente intrínseca de agua se puede utilizar para limitar la capa 5 de líquido condensado atacada a la superficies expuestas de la capa de óxido de silicio y así no producir capa 5 de

líquido condensado en zonas no deseadas dentro de la estructura 1 MEMS en las que se podría originar una fricción estática o corrosión perjudiciales de materiales incompatibles. Sin embargo, se puede prever una fuente vapor de agua externa para iniciar la reacción y/o mantener la reacción cuando sea requerido. Si hay demasiada agua presente entonces pueden modificarse igualmente los otros parámetros de la cámara según sea apropiado.

- 5 A partir de la representación esquemática de esta capa presentada en la Figura 3 se pueden apreciar otros detalles de la capa 5 de líquido condensado. La capa 5 de líquido condensado se puede considerar como una capa que contiene reaccionantes de ataque, agua (H_2O) 6 y moléculas 7 de HF y subproductos producidos a medida que progresa el ataque, por ejemplo, moléculas 8 de tetrafluoruro de silicio (SiF_4). Con el fin de proporcionar concentraciones suficientemente elevadas de reaccionantes como para producir velocidades de ataque de un nivel
- 10 suficiente para aplicaciones comerciales, es decir, $\sim 1000 - 5000 \text{ \AA}/\text{min}$ se requiere que la capa 5 de líquido condensado se forme hasta una profundidad de al menos 10 \AA , aunque se prefiere que esta profundidad sea de al menos 100 \AA . La profundidad máxima de la capa 5 de líquido condensado se define principalmente por la estructura 1 MEMS que se va a atacar. Sin embargo, si hay demasiado líquido puede producirse fricción estática inducida por capilaridad. Para ayudar a ilustrar este punto la Figura 4 presenta una representación gráfica de la concentración de
- 15 vapor de agua frente a la distancia desde la superficie de la capa de óxido de silicio para la estructura 1 MEMS de la Figura 2.

Considerando la fricción estática inducida por capilaridad con más detalle, cuando se evapora un líquido, el líquido que queda conformado en un volumen tan pequeño como sea posible. Sin embargo, el líquido en contacto con las superficies de la estructura está siendo atraído por fuertes fuerzas superficiales. El líquido se contrae a medida que

20 el volumen se reduce durante la evaporación. Así, si el contacto con la superficie es fuerte este efecto puede unir las superficies entre sí e inducir fricción estática. La fricción estática inducida por capilaridad depende así de una serie de factores. La cantidad de líquido presente, el área de contacto, las fuerzas superficiales y la fuerza de restablecimiento mecánico de la estructura.

Controlar la capa 5 de líquido condensado limita la cantidad de líquido presente y el área de contacto de la superficie, los cuales ayudan ambos a reducir la aparición de fricción estática inducida por capilaridad. Además, la localización de la capa 5 de líquido condensado se encuentra en el sitio de ataque que es más próximo a donde está siendo soportada la estructura. En esta posición el líquido presente y el efecto de la evaporación tienen la menor

25 influencia sobre la unión entre sí de superficies adyacentes.

En la realización descrita en el presente documento, profundidades mayores de $0,2 \mu\text{m}$ comenzarían a hacer la estructura 1 MEMS sensible a los efectos de la fricción estática inducida por capilaridad. En la práctica se encuentra que una profundidad de la capa 5 de líquido condensado de $\sim 0,1 \mu\text{m}$ proporciona una velocidad de ataque de $\sim 3000 \text{ \AA}/\text{min}$.

30

Como se ha citado antes, en la formación de la capa 5 de líquido condensado influyen una serie de factores. Por ejemplo, la presencia y control de la capa 5 de líquido condensado está influenciada por la temperatura de la estructura 1 MEMS, el flujo de gas hacia la cámara de proceso y la propia presión de la cámara. La capa 5 de líquido condensado también está muy influenciada por las propiedades superficiales del material expuesto. El control de la capa 5 de líquido condensado puede, por tanto, visualizarse desplazándose entre una fase vapor y líquida como se representa gráficamente en la Figura 5. Así, el efecto de variar los parámetros de la cámara a la formación de la capa 5 de líquido condensado puede resumirse como sigue:

35

- 40 a) Aumentar la temperatura de la estructura 1 MEMS desplaza la ventana de proceso hacia la fase gas y por tanto reduce la profundidad de la capa 5 de líquido condensado;
- b) aumentar la presión en la cámara de proceso desplaza la ventana de proceso hacia la fase líquida y por tanto promueve la formación de la capa 5 de líquido condensado;
- c) aumentar la presión parcial del vapor de agua promueve la formación de la capa 5 de líquido condensado;
- 45 d) reemplazar el vapor de agua por vapor de alcohol (por ejemplo, vapor de metanol o vapor de alcohol isopropílico) disminuye la formación de la capa 5 de líquido condensado; y
- e) aumentar la presión parcial del HF promueve la formación de la capa 5 de líquido condensado.

Como se ha citado antes, la formación de la capa 5 de líquido condensado también se ve influenciada por las propiedades intrínsecas del material que está siendo atacado. Por ejemplo, una superficie hidrófila ayuda a la capa 5 de líquido condensado a humectarse produciendo así una capa uniforme y mejorando así la uniformidad del ataque al mismo tiempo que se reduce el grosor de la capa 5 de líquido condensado. Un procedimiento para generar una superficie hidrófila es exponer la superficie a un plasma de oxígeno. Después de esta preparación de la superficie se puede atacar el material. Este ciclo se puede repetir para ayudar a mantener el control de las propiedades de la capa 5 de líquido condensado.

50

Dicha etapa de control puede ser deseable en la estructura 1 MEMS puesto que la capa 2 de óxido de sacrificio es intrínsecamente hidrófila. Por otro lado, cuando están presentes otros materiales o quedan expuestos durante el

55

ataque, entonces las propiedades de la superficie también pueden cambiarse, por ejemplo, cuando quedan expuestas áreas del sustrato 3. Estos materiales son por lo general más hidrófobos que la capa 2 de óxido y así promueven la deposición de la capa 5 de líquido condensado. Esto aumenta la profundidad máxima de la capa 5 de líquido condensado que podría quedar en contacto con superficies adyacentes produciendo de este modo fricción estática. Un efecto similar puede suceder cuando se exponen residuos que a su vez pueden promover la deposición de líquido.

Para solventar este aspecto problemático de la exposición a superficies subyacentes, que son hidrófobas y así promover la deposición de líquido se puede introducir en la cámara un vapor adecuado que interaccione con el vapor de agua. Por ejemplo, se puede emplear un vapor orgánico tal como 2-[metoxi(polietileno)propil]heptametiltrisiloxano. Por tanto, una superficie hidrófila puede impartir a las superficies expuestas la capacidad de impedir que el vapor de agua se deposite y la inducción de fricción estática.

De forma alternativa, si la superficie expuesta subyacente es sensible a la corrosión entonces es deseable que esta superficie se vuelva hidrófoba. Esto se consigue de nuevo mediante la introducción de un vapor orgánico que interactúe con el vapor de agua en la cámara evitando así que el vapor de agua condense sobre la superficie expuesta. Un ejemplo de un vapor orgánico adecuado para esta función es tridecafluoro-1,1,2,2-tetrahidrooctiltriclorosilano y heptadecafluoro-1,1,2,2-tetrahidrodeciltriclorosilano. Esta introducción de ese vapor orgánico actúa así calmando el ataque con HF sobre estas superficies sensibles a la corrosión.

Como se apreciará por los expertos en la técnica, el ataque de óxidos de silicio dopados tales como PSG, BSG y BPSG da como resultado que queden debajo residuos. Para eliminar estos subproductos del ataque se emplea tradicionalmente aclarado con agua. Sin embargo, como se describe en la introducción, emplear aclarados con agua acentúa los riesgos de fricción estática inducida por capilaridad. Por tanto, dentro del presente procedimiento se introduce en la cámara una química de plasma altamente reactivo usando una unidad de plasma remota. El plasma reacciona con los residuos, por ejemplo, de boro y fósforo, produciendo compuestos volátiles que son gaseosos sin hacer que la estructura 1 MEMS sea sensible a la fricción estática. Esta etapa de eliminación de residuos se puede llevar a cabo bien en la misma cámara de procesado o bien en una cámara dedicada separada. Por otro lado, las cámaras pueden estar agrupadas para proporcionar un procesado automático.

La Figura 6 presenta una representación esquemática de un aparato 9 de ataque empleado para atacar la estructura 1 MEMS de acuerdo con el procedimiento descrito antes. Se puede apreciar que el aparato 9 de ataque comprende una cámara 10 de ataque unida a cual hay tres conducciones 11, 12 y 13 de entrada, y una conducción 14 de vacío de salida.

En la cámara 10 de ataque hay un soporte 15 controlado por temperatura adecuado para ubicar la estructura 1 MEMS que se va a atacar dentro de la cámara 10. Puede apreciarse que la propia cámara 10 comprende una tapa 16 para facilitar el acceso a un usuario al interior de la cámara 10. Dispuesta centrada en la tapa 16 hay una ventana 17 de selenuro de cinc (ZnSe) que proporciona un medio para mantener la integridad del vacío de la cámara 10 pero que permite la transmisión de radiación infrarroja desde el interior de la cámara 10.

El aparato 9 de ataque comprende además un pirómetro 18 que está situado externamente a la cámara 10 y que coincide con la ventana de ZnSe. El pirómetro 18 está situado de tal forma que la longitud focal óptima asociada e intrínseca del pirómetro 18 para maximizar la captura de luz coincida con la distancia entre el pirómetro 18 y la estructura 1 MEMS situada en el soporte 15. A esta distancia de operación óptima la sensibilidad del pirómetro se maximiza. La longitud de onda de operación del pirómetro 18 es por lo general de 8 - 12 μm y como tal el pirómetro 18 se puede emplear para monitorizar la radiación infrarroja y, por tanto, la temperatura de la estructura 1 MEMS, como se describe con detalle por los autores en la solicitud de patente PCT n° PCT/GB2006/000140.

El soporte 15, una vez situada la estructura 1 MEMS, se puede ajustar y mantener a una temperatura de soporte T_P , mediante un controlador de temperatura. Esta temperatura puede ser superior o inferior a la temperatura ambiente, seleccionándose la temperatura particular para optimizar el proceso de ataque (de forma típica (20 - 40 °C). Además, durante el proceso de ataque las paredes de la cámara 10 se calientan, de forma típica a ~ 70 °C.

La presión del gas de ataque en la cámara 10, P_c , se monitoriza por un controlador 19 de presión de la cámara. El controlador 19 de presión de la cámara incorpora también un controlador de flujo para proporcionar un medio de controlar la presión dentro de la cámara 10 controlando la operación de un sistema 20 de bombeo de vacío situado en la conducción 14 de vacío.

El vapor de HF 21 se alimenta de forma controlada a la cámara 10 por la primera conducción 11 de entrada a través de un controlador de flujo másico (CFM) 22 situado entre dos válvulas 23.

Las cantidades controladas de agua y/o alcohol se alimentan a la cámara 10 por una segunda conducción 12 de entrada. En particular, se alimentan gas vehículo nitrógeno a un primer aparato 24 burbujeador que contiene agua 25 de modo que proporcione un medio para transportar una cantidad deseada de agua a la cámara 10. El flujo de gases vehículo nitrógeno a través del primer burbujeador 24 está controlado por una combinación de un CFM 22 y una serie de válvulas 23. De una forma similar, también se emplea un gas vehículo nitrógeno para transportar alcohol desde una fuente de alcohol 26 situada en un segundo aparato 27 burbujeador a la cámara 10

- La tercera conducción 13 de entrada proporciona un medio para alimentar una química de plasma altamente reactivo y/o un vapor inorgánico a la cámara 10 desde una fuente 28 remota de plasma o de vapor orgánico. El plasma se puede emplear para oxidar la capa 2 de óxido de silicio de modo que se incrementen sus características hidrófobas, o para que reaccione con cualquier residuo, por ejemplo, boro y fósforo, para producir un compuesto gaseoso volátil que se pueda eliminar sencillamente mediante bombeo por el sistema 20 de vacío.
- La introducción de un vapor orgánico se puede emplear para solventar el aspecto problemático de la exposición de superficies subyacentes, que son hidrófobas y sensibles a los efectos de formación de gotas de agua. De forma alternativa, si la superficie subyacente expuesta es sensible a la corrosión entonces se puede emplear el vapor orgánico para hacer esta superficie hidrófoba. Estos procesos se describen con detalle arriba.
- Se emplea un controlador 29 por ordenador para automatizar la regulación de los diversos componentes y parámetros de la cámara 10, por ejemplo, el suministro de gas vehículo nitrógeno, HF, vapor, temperaturas y presión de la cámara, y similares.
- Con el fin de permitir que el procedimiento descrito de ataque transcurra es necesario obtener un diagnóstico que permita monitorizar de forma exacta la capa 5 de líquido condensado. Como se ha descrito antes, las propiedades físicas de la capa 5 de líquido condensado afectan directamente a la velocidad de ataque sobre la estructura 1 MEMS, monitorizando de este modo la velocidad de ataque se obtiene un diagnóstico directo de las propiedades físicas de la capa 5 de líquido condensado.
- En la práctica, la velocidad de ataque se puede monitorizar por una diversidad de formas, por ejemplo, monitorizando el nivel de subproductos producidos, monitorizando el ataque de la oblea directamente, monitorizando un cambio en las condiciones de la cámara o midiendo la temperatura de la oblea. En la realización descrita en este momento, para monitorizar la velocidad de ataque se emplea una medida remota de la temperatura.
- Inicialmente la estructura 1 MEMS se ajusta a una temperatura predeterminada en el soporte, $\sim 30^\circ\text{C}$. La reacción descrita por la Ecuación (1) es exotérmica, así, empleando el pirómetro 18 para monitorizar la temperatura de la oblea durante el ataque, esta temperatura de la oblea proporciona un medio para monitorizar la velocidad de ataque y, por consiguiente, las propiedades físicas de la capa 5 de líquido condensado.
- En realizaciones alternativas de los procedimientos y el aparato descritos antes se ha descubierto que es beneficioso monitorizar la temperatura de la muestra T_s en diversas posiciones de la muestra para que sea posible monitorizar la capa 5 de líquido condensado en estas posiciones. Un modo de conseguir esto es usar un visualizador térmico de imágenes construido en la tapa 16 en lugar del pirómetro proporcionando de este modo un medio para visualizar la superficie de la estructura 1 MEMS. Un segundo enfoque es emplear una serie de pirómetros 18 distribuidos sobre la tapa 16 para proporcionar así un medio para visualizar diferentes puntos en la estructura 1 MEMS. Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que se puede emplear de forma alternativa cualquier técnica para medir la temperatura de la muestra.
- Empleando el aparato 9 de ataque se ataca una estructura 1 MEMS mediante el siguiente procedimiento. Se ajusta la temperatura de la estructura 1 MEMS a 30°C y el pirómetro 18 empleado para monitorizar su temperatura y por consiguiente la formación de la capa 5 de líquido condensado. Se introducen entonces en la cámara 10 niveles controlados de vapor de HF 21 y agua 25 para iniciar el proceso de ataque. A medida que transcurre el ataque se controlan las cantidades de vapor de HF 23, agua 25 y alcohol 26, junto con la presión de la cámara P_c , de modo que se garantice que la capa 5 de líquido condensado solo está presente sobre las capas 2 de óxido de silicio que se van a atacar. A medida que transcurre el ataque la relación de agua a alcohol presente, y las condiciones en la cámara de proceso 10, por ejemplo, presión en la cámara, se regulan para controlar las propiedades de la capa 5 de líquido condensado a lo largo de todo el proceso de ataque.
- En la práctica, se ha encontrado que puede ser requerida una pequeña cantidad de vapor de agua para iniciar el ataque. Sin embargo, a medida que continúa el ataque la fuente primaria de agua es la que se produce como subproducto o la reacción, como se pone de manifiesto por la Ecuación (1). Puesto que el ataque requiere la presencia de una fuente de vapor de agua el proceso de ataque se ve restringido de forma eficaz a la superficie de la capa 2 de óxido de silicio. Las condiciones en otras partes de la muestra 1 y la cámara 10 son tales que se suprime el ataque por HF.
- Además, se ha encontrado que la corrosión en la estructura 1 MEMS y en la cámara 10 presenta un efecto fotoquímico. Por tanto, es beneficioso que la cámara de proceso 10 esté totalmente oscura durante el proceso de ataque para garantizar que no se desarrollen efectos fotoquímicos perjudiciales.
- La estructura que está siendo atacada determinará el régimen de ataque usado y, por tanto, la configuración requerida de la cámara. Por ejemplo, grandes estructuras podrán acomodar un determinado grosor de capa 5 de líquido condensado mientras que una estructura más frágil puede requerir una capa 5 de líquido condensado más delgada, o incluso gaseosa. El proceso se puede personalizar a las estructuras y materiales que se estén fabricando.
- La presente invención ofrece varias ventajas sobre los sistemas descritos en la técnica anterior. En primer lugar el

- control exacto de la capa de líquido condensado proporciona un procedimiento fiable para liberar una característica desde una microestructura que no es sensible a los efectos de la fricción estática, como es el caso para las denominadas técnicas de ataque en húmedo y técnicas de ataque en seco que emplean un catalizador basado en agua. Además esto se consigue manteniendo aun una velocidad de ataque del orden de $\sim 3000 \text{ \AA}/\text{min}$, que es un nivel aceptable para uso en una aplicación comercial, a diferencia de las denominadas técnicas de ataque en seco descritas en la técnica que emplean un catalizador basado en alcohol. Por otro lado, como la capa de líquido condensado está restringida a las superficies expuestas que van a ser atacadas, se reducen de manera significativa los efectos de la corrosión sobre otras superficies de la microestructura, y sobre la propia cámara de proceso.
- 5
- El procedimiento descrito también es muy flexible y por tanto se puede adaptar fácilmente para uso con una gama de microestructuras, por ejemplo, estructuras MEMS, que contienen una gama de capas de óxido de silicio que van a ser atacadas.
- 10
- La incorporación de la unidad de plasma también tiene la ventaja de dejar que se oxide la capa de óxido de silicio, si se requiere, o para que sea introducida la química de plasma reactivo en la cámara para eliminar cualquier residuo no deseado de las microestructuras.
- 15
- También se pueden introducir vapores orgánicos para reducir los efectos de la deposición a efectos de reducir el riesgo de la fricción estática inducida por capilaridad o hacer la superficie sensible a la corrosión al ser hidrófoba.
- La anterior descripción de la invención se ha presentado a efectos de ilustración y descripción y no pretende ser exhaustiva o limitar la invención a la forma precisa incluida. Las realizaciones descritas se eligieron y describieron con el fin de explicar mejor los principios de la invención y su aplicación práctica para permitir de este modo que otros expertos en la técnica utilicen del mejor modo la invención en diversas realizaciones y con diversas modificaciones que son adecuadas al uso particular contemplado. Por tanto, se pueden incorporar otras modificaciones o mejoras sin apartarse del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.
- 20

REIVINDICACIONES

- 1.** Un procedimiento de liberación, en un proceso de ataque, de una microestructura (1) que comprende una capa (2) de óxido de silicio situada entre una capa (3) de sustrato y una capa (4) que se va a liberar desde la capa (2) de óxido de silicio, comprendiendo el procedimiento:
- 5 exponer la capa (2) de óxido de silicio a un vapor de fluoruro de hidrógeno en una cámara de proceso; y
- controlar los parámetros de la cámara incluyendo la presión parcial del vapor de fluoruro de hidrógeno, la presión parcial de agua, la presión de la cámara y la temperatura de la microestructura (1) que se va a atacar;
- en el que dichos parámetros de la cámara se controlan para garantizar que una capa (5) de líquido condensado que comprende agua y fluoruro de hidrógeno se forme únicamente sobre la capa (2) de óxido de silicio; y
- 10 en el que dichos parámetros de la cámara se controlan además para garantizar que la fuente primaria de agua en la capa (5) de líquido condensado es un subproducto de la reacción entre la capa (5) de líquido condensado y la capa (2) de óxido de silicio, restringiendo de este modo el proceso de ataque a la capa (2) de óxido de silicio.
- 2.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según la reivindicación 1 que comprende además la etapa de exponer la capa (2) de óxido de silicio a un vapor de agua.
- 15 **3.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el procedimiento comprende además la formación de la capa (5) de líquido condensado que tiene una profundidad de al menos 10 Å.
- 4.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende además la formación de la capa (5) de líquido condensado que tiene una
- 20 profundidad de al menos 100 Å.
- 5.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende además la formación de la capa (5) de líquido condensado que tiene una profundidad menor que un valor máximo predeterminado.
- 25 **6.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende además las etapas de monitorizar la profundidad de la capa (5) de líquido condensado.
- 7.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según la reivindicación 6, en el que el procedimiento comprende además la etapa de ajustar uno o más parámetros de la cámara de proceso para mantener la profundidad de la capa (5) de líquido condensado entre 10 Å y el valor máximo predeterminado.
- 30 **8.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que la etapa de monitorizar la profundidad de la capa (5) de líquido condensado comprende la etapa de monitorizar la velocidad de ataque de la capa (2) de óxido de silicio.
- 9.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según la reivindicación 8, en el que la etapa de monitorizar la velocidad de ataque comprende monitorizar la temperatura de la estructura (1) micromecánica.
- 35 **10.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la etapa de ajustar uno o más parámetros de la cámara de proceso comprende la selección de una o más etapas del grupo de etapas que comprende:
- a) alterar la temperatura de la estructura micromecánica (1);
- b) alterar la presión de la cámara de proceso;
- 40 c) alterar la presión parcial del vapor de agua;
- d) exponer la capa (2) de óxido de silicio a un vapor de alcohol (por ejemplo, vapor de metanol o vapor de alcohol isopropílico); y
- e) alterar la presión parcial del vapor de HF.
- 45 **11.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende además la etapa de oxidar las superficies expuestas de la capa (2) de óxido de silicio.
- 12.** Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según la reivindicación 11, en el que la etapa de oxidar las superficies expuestas de la capa (2) de óxido de silicio comprende exponer estas superficies a un plasma de oxígeno.

13. Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende además la etapa de exponer la microestructura a una química de plasma reactivo.
- 5 14. Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende además la etapa de introducir un vapor orgánico en una superficie expuesta por el proceso de ataque para hacer esta superficie hidrófila.
15. Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según la reivindicación 14, en el que el vapor orgánico es 2-[metoxi(polietileno)propil]heptametiltrisiloxano.
- 10 16. Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende además la etapa de introducir un vapor orgánico en una superficie expuesta por el proceso de ataque para hacer esta superficie hidrófoba.
17. Un procedimiento de liberación de una microestructura (1) según la reivindicación 16, en el que el vapor orgánico se selecciona de un grupo de vapores orgánicos que comprenden tridecafluoro-1,1,2,2-tetrahidrooctiltriclorosilano y heptadecafluoro-1,1,2,2-tetrahidrodeciltriclorosilano.

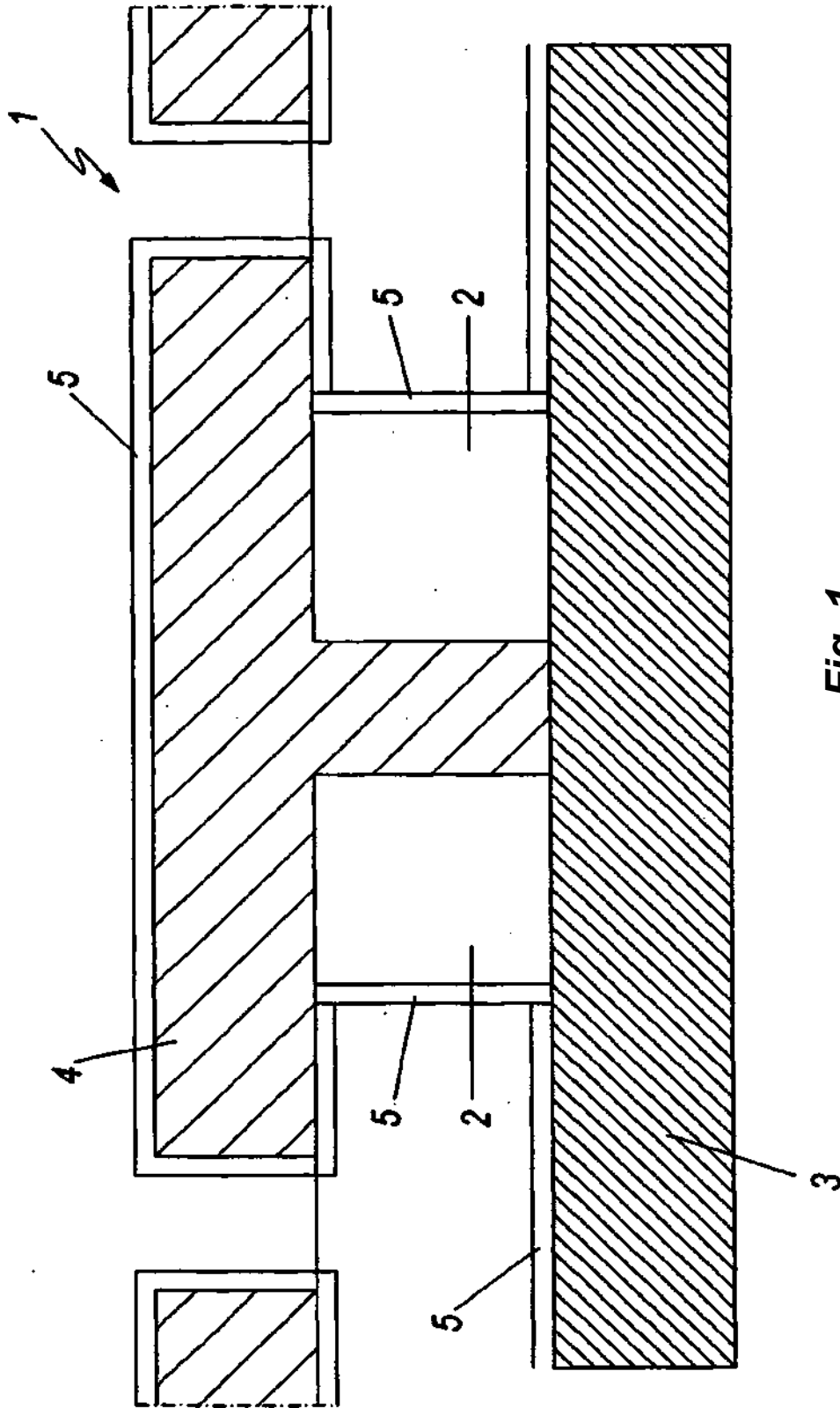


Fig. 1
Técnica anterior

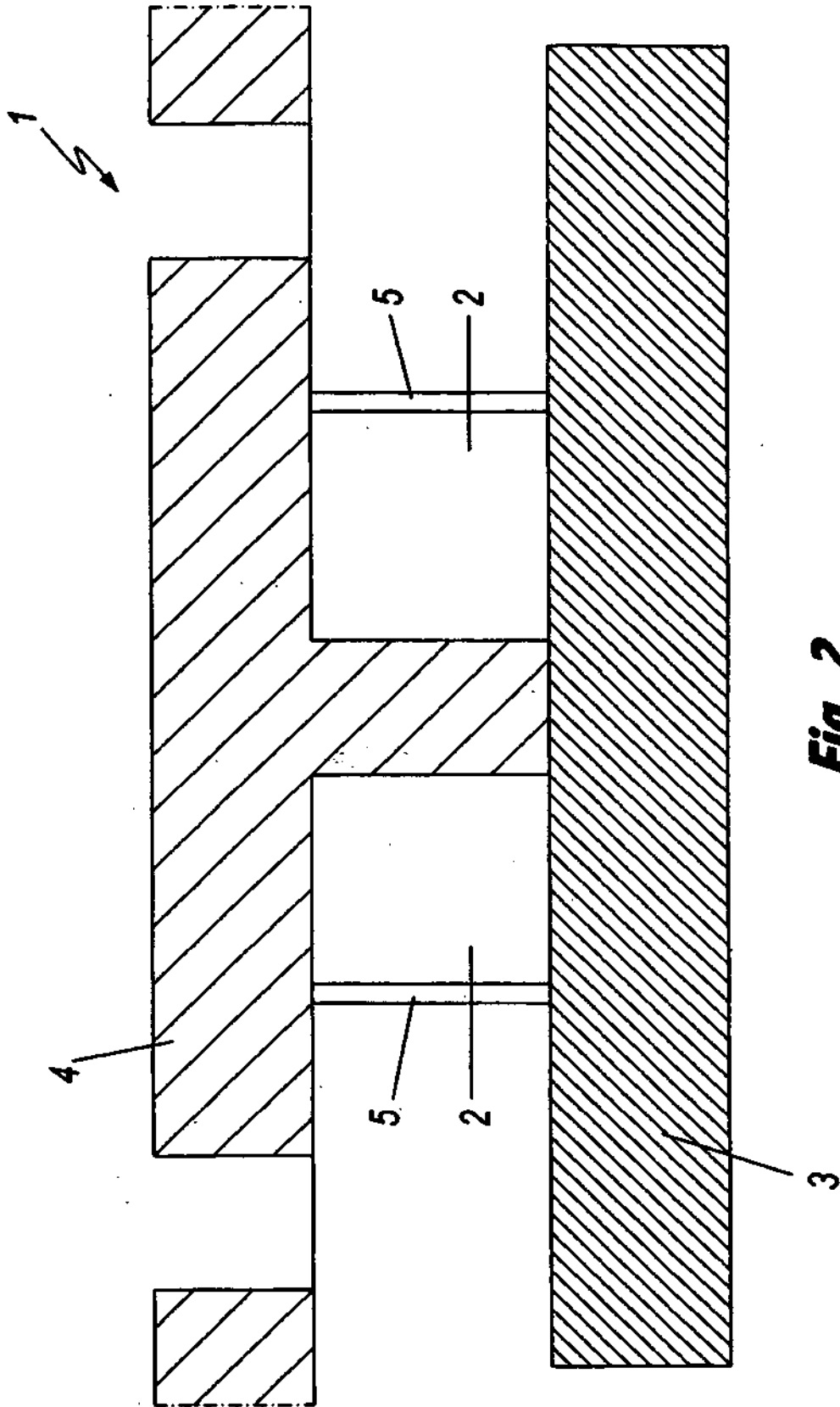


Fig. 2

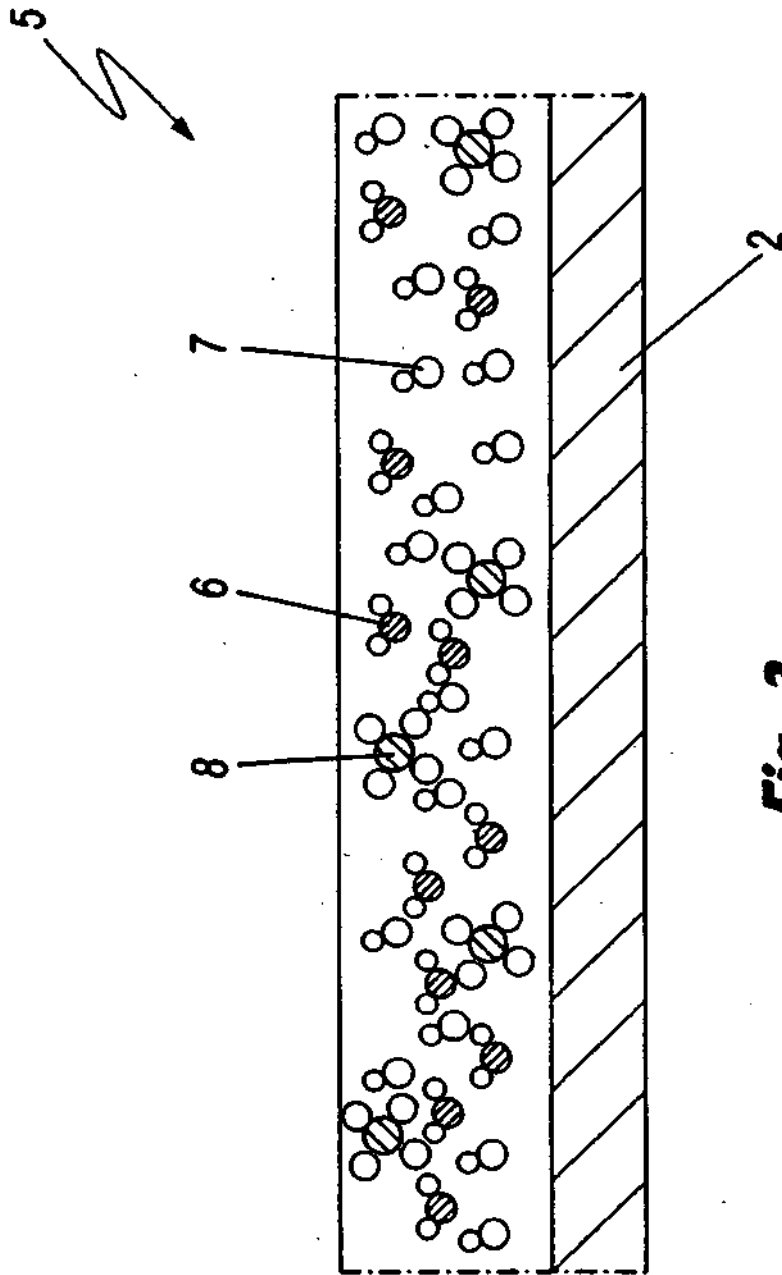


Fig. 3

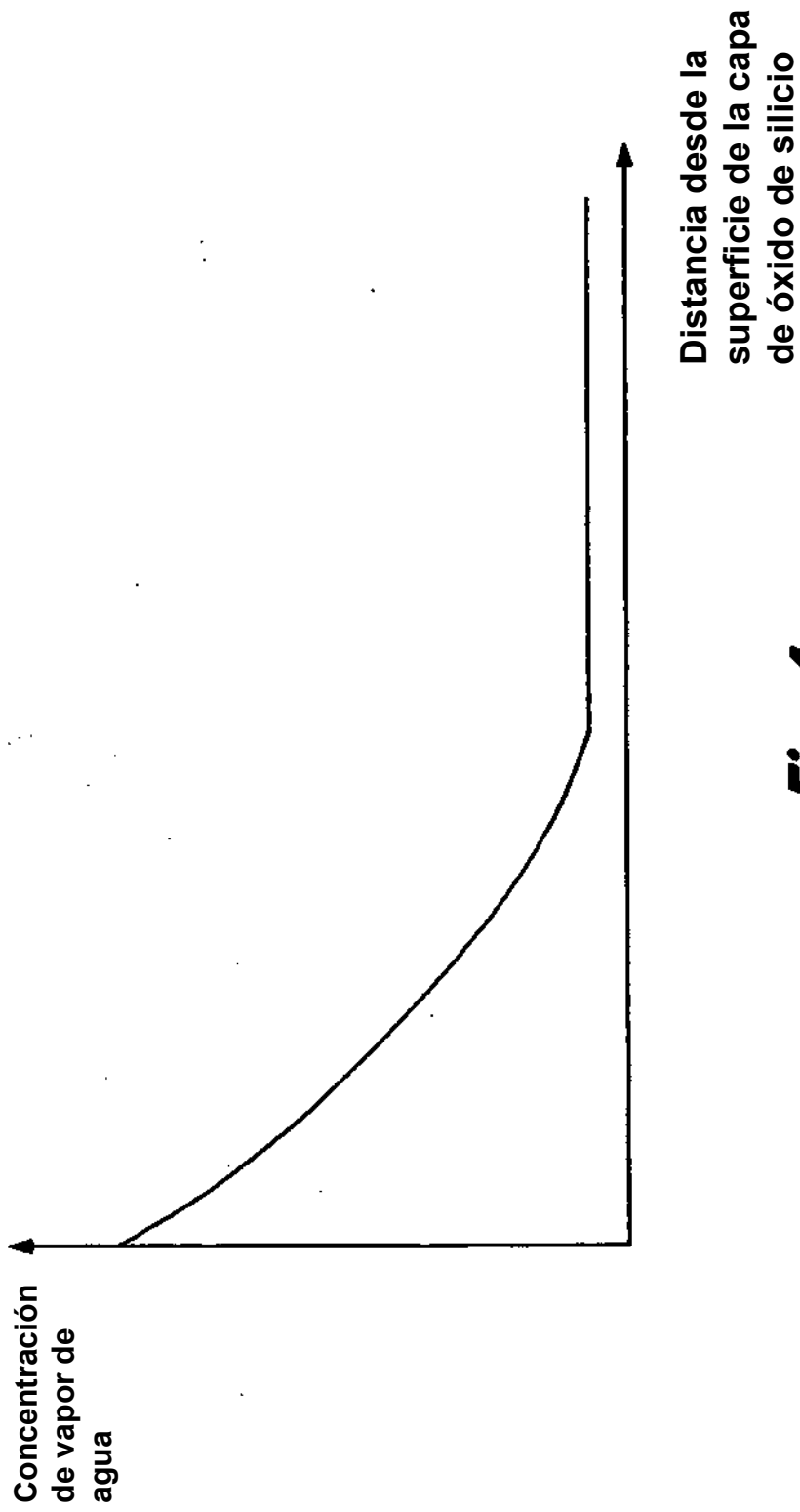


Fig. 4

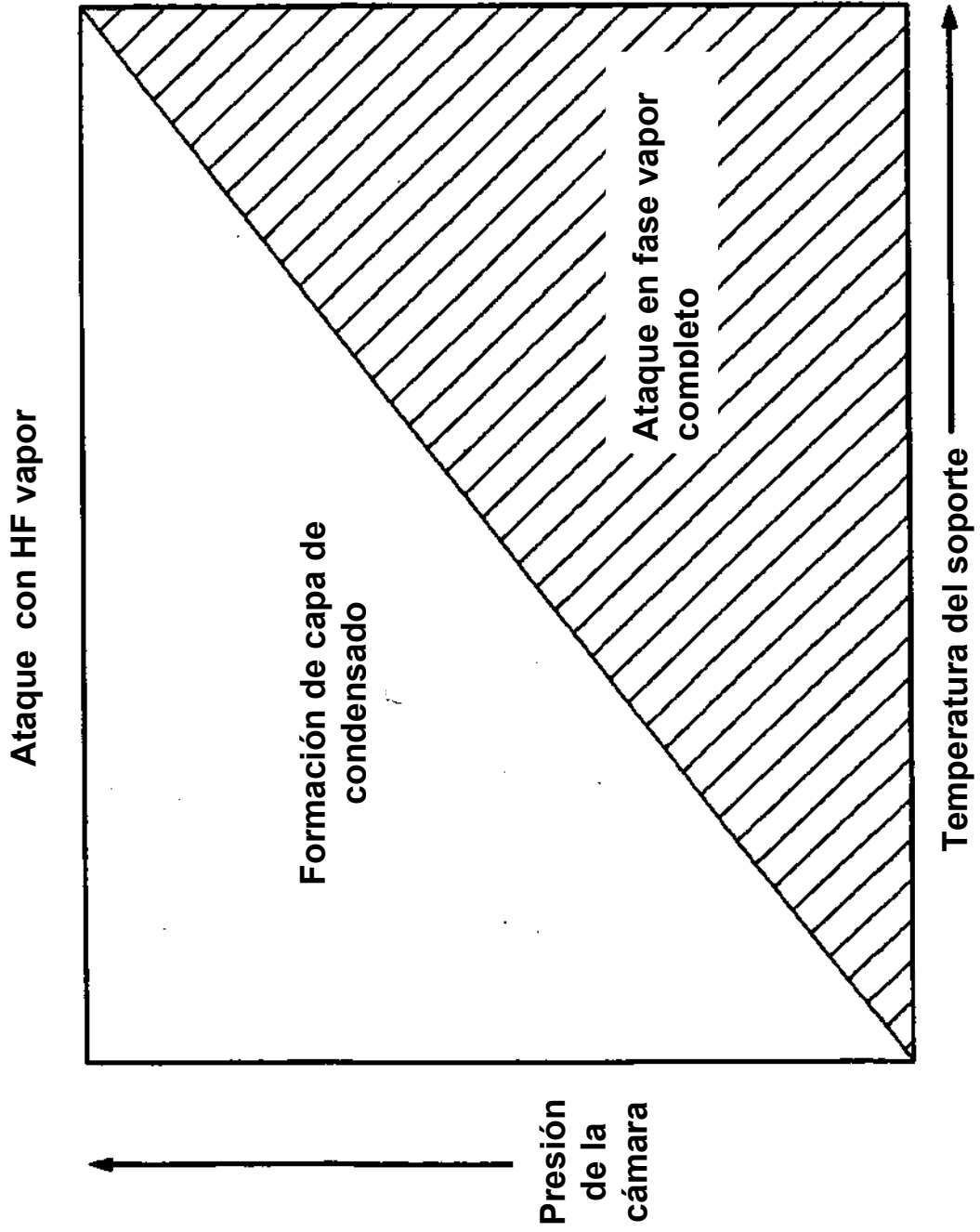


Fig. 5

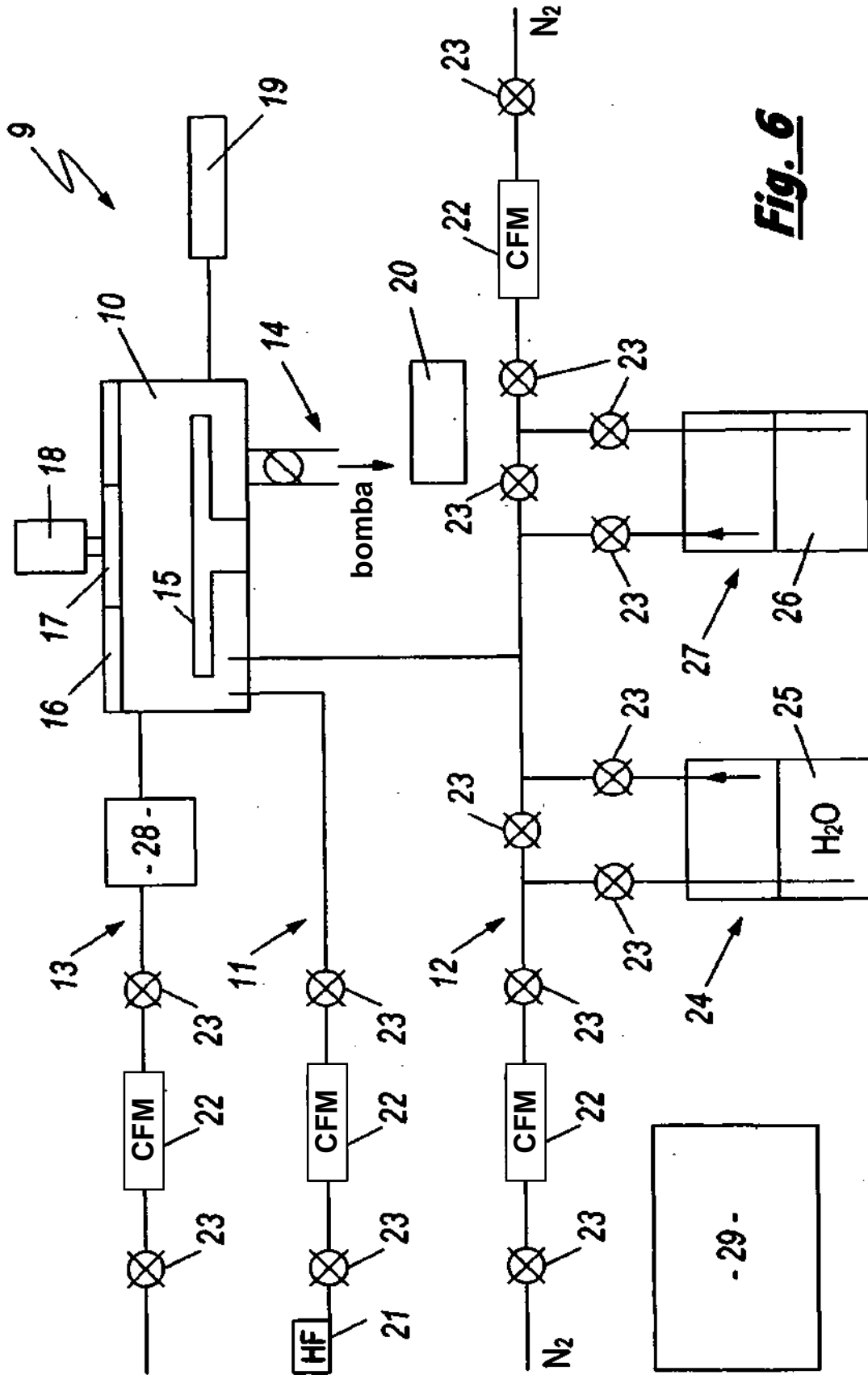


Fig. 6