

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 108**

51 Int. Cl.:

**H01L 21/311** (2006.01)

**B81C 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.01.2012 PCT/GB2012/050144**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.08.2012 WO12101431**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2012 E 12708367 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2019 EP 2668312**

54 Título: **Ataque con vapor de dióxido de silicio con selectividad mejorada**

30 Prioridad:

**24.01.2011 GB 201101188**

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

**16.06.2020**

73 Titular/es:

**MEMSSTAR LIMITED (100.0%)  
1 Fleming Road, Kirkton Campus  
Livingston EH54 7BN , GB**

72 Inventor/es:

**O'HARA, ANTHONY**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 767 108 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**

Ataque con vapor de dióxido de silicio con selectividad mejorada

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método para mejorar la selectividad a los materiales circundantes cuando se realiza el ataque del dióxido de silicio con un vapor de fluoruro de hidrógeno (HF). En particular, los parámetros de ataque se controlan cuidadosamente para mejorar la selectividad con nitruro de silicio.

10

**Antecedentes de la invención**

En la fabricación de microestructuras, por ejemplo, estructuras microelectromecánicas (MEMS), los procesos de ataque se utilizan para eliminar áreas de material de sacrificio (es decir, no deseadas), véase por ejemplo el número de publicación de patente internacional WO 2008/015434 y los números de publicación de patente de EE. UU. US 2003/0080082, US 2006/0216941 y US 2006/0207968. Las MEMS han encontrado aplicación en la medición de inercia, detección de presión, medición térmica, microfluídica, óptica y comunicaciones de radiofrecuencia, y el abanico de posibilidades para estas estructuras continúa creciendo. Las capas de sacrificio se emplean inicialmente en la construcción de las MEMS y luego se eliminan con una etapa de ataque, lo que permite que la estructura funcione según lo diseñado. Para producir estructuras fiables, se requiere la etapa del ataque de eliminación para eliminar la capa de sacrificio sin atacar el material circundante. Idealmente, el ataque de la capa de sacrificio no debería tener ningún impacto en la estructura restante.

15

20

25

30

Se sabe que, durante la fabricación de las MEMS, se emplean muchos materiales, p. ej., silicio, dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), aluminio y fotorresistencia, por nombrar algunos. Algunos de estos materiales se emplean como materiales de sacrificio, mientras que otros se emplean para definir y, por lo tanto, formar las MEMS. No es raro durante la fabricación de una MEMS que se emplee más de una etapa de ataque sacrificial. Por ejemplo, se puede utilizar inicialmente una película como una máscara durante un primer proceso de ataque de sacrificio y luego atacarla posteriormente como la siguiente capa de sacrificio. Por lo tanto, en cualquier ataque de eliminación es altamente deseable que haya una alta selectividad de ataque entre la capa de sacrificio y los materiales circundantes.

35

Un enfoque comúnmente empleado para cuantificar la selectividad de los materiales es el ataque de películas combinadas de esos materiales utilizando la misma disposición de ataque y luego comparar la cantidad de material que se ha eliminado. Esta técnica es ampliamente utilizada y brinda información muy útil. Sin embargo, en la práctica, se puede encontrar que la selectividad del ataque depende de los materiales presentes y la forma en que se han depositado, las características del ataque en sí y cualquier tratamiento posterior realizado en la MEMS.

40

45

A modo de ejemplo, el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) se usa comúnmente para eliminar áreas de sacrificio de dióxido de silicio en la fabricación de MEMS. Este ataque es un ataque químico, que no requiere plasma, se realiza a una presión de cámara de proceso en el intervalo de 18T a 150T y normalmente requiere calentamiento para lograr una temperatura operativa entre 25 °C y 70 °C. Se requiere un catalizador para que se produzca el ataque con vapor de HF de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). A menudo se emplea agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) como catalizador ya que esto proporciona un ataque rápido y controlado, aunque como alternativa catalizadores conocidos en la técnica incluyen alcoholes, metanol, etanol y propanol. Sin embargo, el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (junto con el tetrafluoruro de silicio ( $\text{SiF}_4$ )) es un subproducto del proceso de reacción y esto significa que las características inherentes del ataque pueden tener una influencia significativa en el ataque que tiene lugar. Por lo tanto, se requiere un control cuidadoso de las condiciones del proceso.

50

55

Se sabe que el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) del dióxido de silicio exhibe una alta selectividad para muchas películas comunes. Por ejemplo, la selectividad teórica frente al silicio y al aluminio es alta y no se espera ataque ni corrosión. Sin embargo, las condiciones del proceso descritas anteriormente también son compatibles cuando se usa vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) en el ataque de nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Por lo tanto, en la práctica puede resultar difícil lograr una alta selectividad entre las capas de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y el nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) durante un ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF).

60

Por lo tanto, es un objeto de una realización de la presente invención proporcionar un método para el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) de dióxido de silicio que exhibe una selectividad incrementada al nitruro de silicio en comparación con las técnicas conocidas en la técnica.

**Sumario de la invención**

Se proporciona un método para atacar selectivamente dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) dentro de una cámara de proceso para producir una o más microestructuras, comprendiendo el método:

65

proporcionar a la cámara de proceso un vapor de ataque que comprende fluoruro de hidrógeno (HF); y

aumentar la proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $\text{HF}_2^-$  y  $\text{H}_2\text{F}_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $\text{F}^-$  y  $\text{HF}$ ) dentro del vapor de ataque estableciendo una temperatura operativa de ataque por debajo de  $20^\circ\text{C}$ .

5 El aumento de la proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $\text{HF}_2^-$  y  $\text{H}_2\text{F}_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $\text{F}^-$  y  $\text{HF}$ ) dentro del vapor de ataque actúa aumentando significativamente la selectividad del proceso de ataque frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).

10 El aumento de la proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $\text{HF}_2^-$  y  $\text{H}_2\text{F}_2$ ) especies reactivas de monofluoruro ( $\text{F}^-$  y  $\text{HF}$ ) dentro del vapor de ataque puede comprender proporcionar a la cámara de proceso un gas que no es de ataque.

15 Preferiblemente, el gas que no es de ataque comprende un gas compuesto de hidrógeno. El compuesto de hidrógeno puede comprender un compuesto seleccionado del grupo de compuestos que comprende hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) o mezclas de los mismos.

Preferiblemente, la temperatura operativa de ataque se establece en  $10^\circ\text{C}$ .

20 Preferiblemente, el método comprende además proporcionar a la cámara de proceso un catalizador. El catalizador comprende preferiblemente vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

El método puede comprender el control de la cantidad de vapor de ataque y gas que no es de ataque dentro de la cámara de proceso controlando una velocidad de bomba de vacío fuera de la cámara de proceso.

25 Como alternativa, el método puede comprender la circulación del vapor de ataque y el gas que no es de ataque a través de la cámara de proceso.

Es preferible que el método comprenda la provisión de una máscara que recubre el dióxido de silicio para permitir el ataque selectivo del dióxido de silicio.

30 Se puede proporcionar un aparato de ataque en fase de vapor para atacar selectivamente dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) respecto del nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) para producir una o más microestructuras, comprendiendo el aparato:

una cámara de proceso para recibir el dióxido de silicio a atacar;

35 una fuente de vapor de fluoruro de hidrógeno ( $\text{HF}$ );

una fuente de gas que no es de ataque en la que el gas que no es de ataque es adecuado para aumentar la proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $\text{HF}_2^-$  y  $\text{H}_2\text{F}_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $\text{F}^-$  y  $\text{HF}$ ) dentro de un vapor de fluoruro de hidrógeno ( $\text{HF}$ ); y

una o más líneas de gas que conectan la fuente de vapor de fluoruro de hidrógeno ( $\text{HF}$ ) y la fuente de gas que no es de ataque a la cámara de proceso.

40 El aparato de ataque en fase de vapor puede comprender una fuente de catalizador. Preferiblemente, la una o más líneas de gas conectan la fuente de catalizador a la cámara de proceso.

45 Opcionalmente, una fuente de gas portador puede proporcionar un medio para transportar el catalizador a la cámara de proceso.

El catalizador puede comprender agua. El agua puede estar en forma de vapor.

50 El aparato de ataque en fase de vapor comprende preferiblemente un controlador de temperatura que proporciona un medio para establecer una temperatura operativa de ataque.

El aparato de ataque en fase de vapor comprende preferiblemente una bomba de vacío conectada a la cámara de proceso. La bomba de vacío proporciona un medio para controlar la cantidad de vapor de ataque y/o gas que no es de ataque dentro de la cámara de proceso.

55 El aparato de ataque en fase de vapor puede comprender además uno o más controladores de flujo conectados a la una o más líneas de gas. El uno o más controladores de flujo proporcionan un medio para controlar la cantidad de fluidos, p. ej. el vapor de ataque y/o el gas que no es de ataque que llegan a la cámara de proceso.

60 Como alternativa, el aparato de ataque en fase de vapor está configurado para recircular el vapor de ataque y/o el gas que no es de ataque.

65 Según la reivindicación 1, la presente invención proporciona un método de ataque selectivo del dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) en una cámara de proceso para producir una o más microestructuras, comprendiendo el método:

proporcionar a la cámara de proceso un vapor de ataque que comprende vapor de fluoruro de hidrógeno (HF); y establecer una temperatura operativa de ataque por debajo de 20 °C.

5 El ajuste de la temperatura operativa de ataque a 20 °C o menos actúa para aumentar la proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $\text{HF}_2^-$  y  $\text{H}_2\text{F}_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $\text{F}^-$  y HF) dentro del vapor de ataque y de esta manera aumenta significativamente la selectividad del ataque frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).

Preferiblemente, la temperatura operativa de ataque se establece en 10 °C.

10 El método puede comprender además proporcionar a la cámara de proceso un gas que no es de ataque adecuado para aumentar la proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $\text{HF}_2^-$  y  $\text{H}_2\text{F}_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $\text{F}^-$  y HF) dentro del vapor de ataque.

### 15 Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán, solo a modo de ejemplo, diversas realizaciones de la invención con referencia a los dibujos, de los cuales:

20 La Figura 1 ilustra en forma esquemática un sistema de ataque de vapor de HF y  
La Figura 2 ilustra en forma esquemática una MEMS con una película de cobertura que comprende una máscara de aluminio, una capa de dióxido de silicio localizada en la parte superior de una capa de nitruro de silicio (a) antes del ataque y (b) después del ataque.

### 25 Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Con referencia a la Figura 1, se presenta un sistema de ataque de vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) 1 que comprende un sistema de suministro de gas 2 en comunicación fluida con una cámara de proceso 3. También se proporciona una bomba de vacío 4 en comunicación fluida con la cámara de proceso 3. Este sistema permite una selectividad mejorada frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) durante un ataque con vapor de HF de un dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) de sacrificio dentro de una MEMS 5 situada dentro de la cámara de proceso 3, como se describirá en detalle a continuación.

35 El sistema de suministro de gas 2 comprende una fuente de vapor de HF 6, una fuente de gas de hidrógeno 7, una fuente de agua 8, un vaporizador 9 y dos fuentes de gas nitrógeno 10a y 10b. El vapor de agua para usar dentro de la cámara de proceso 3 se produce conectando la fuente de agua 8 al vaporizador 9. Las fuentes de gas nitrógeno 10a y 10b son elementos opcionales, pero cuando están presentes, la fuente 10a proporciona un gas portador para ayudar a transportar el vapor de agua, empleado como catalizador para el ataque de vapor de HF, a la cámara de proceso 3 y la fuente 10b proporciona un gas tampón para el sistema de ataque de vapor 1. Los controladores de flujo de masa o líquido (MFC) 11 se proporcionan preferiblemente dentro de cada línea de suministro del sistema de suministro de gas 2 para proporcionar un medio para regular el flujo de fluido asociado.

40 Se utiliza un manómetro 12 para controlar la presión dentro de la cámara de proceso 3. La velocidad de bombeo de la bomba de vacío 4 y/o los MFC 11 se puede controlar para mantener una presión de funcionamiento establecida dentro de la cámara de proceso 3. El uso de un controlador de presión adaptativa (APC) 13 permite un control preciso de la presión de la cámara de proceso 3. Obsérvese que, en una realización alternativa, los gases dentro de la cámara de proceso 3 pueden circular, en cuyo caso la bomba de vacío 4 sirve para evacuar inicialmente la cámara de proceso 3 (aspirando así el vapor de ataque) o para evacuar la cámara de proceso 3 después de la finalización de la etapa de ataque.

45 Un termómetro 14 también está conectado a la cámara de proceso 3, y preferiblemente a un pedestal 15 situado dentro de la cámara de proceso 3 sobre el cual está situado la MEMS 5 que se va a someter al ataque. Cuando actúan en conjunto con un controlador de temperatura, estos elementos proporcionan un medio para establecer y mantener una temperatura operativa para el ataque con vapor de HF.

50 La Figura 2 (a) presenta una representación esquemática de una MEMS 5 con una película de cobertura sobre la cual se realizará un ataque con vapor de HF. Se puede ver que la MEMS 5 comprende un sustrato de silicio 16 sobre el cual se encuentra situada una capa de nitruro de silicio 17, una capa de sacrificio de dióxido de silicio 18 y una capa de enmascaramiento de aluminio 19.

55 Para el ataque de la capa de dióxido de silicio 18, la MEMS 5 se sitúa inicialmente sobre el pedestal 15 y se establece la temperatura y presión operativas dentro de la cámara de proceso 3. Los vapores de HF y agua se introducen luego en la cámara de proceso 3 para el ataque de la capa de dióxido de silicio 18, como se presenta en la Figura 2(b).

60 En la práctica, existe una alta selectividad entre la capa de dióxido de silicio 18 y la máscara de aluminio 19 de acuerdo con las predicciones teóricas, es decir, no hay un ataque notable de la máscara de aluminio 19. Sin

embargo, la selectividad entre la capa de dióxido de silicio 18 y la capa de nitruro de silicio 17 es significativamente más baja que la de la máscara de aluminio 19 en la medida en que se producen niveles significativos de ataque de la capa de nitruro de silicio 17. A modo de ejemplo, una MEMS 5 que comprende una capa de dióxido de silicio HDP 18 de 1 µm de espesor, una capa de nitruro de silicio LPCVD 17 de 220 nm de espesor y una máscara de aluminio 19 de 200 nm de espesor se sometió a ataque con vapor de HF dentro de la cámara de proceso 3, a una temperatura operativa de 25 °C y a una presión de la cámara de proceso de 18T, para producir un corte inferior de 10 µm. Al finalizar el ataque (aproximadamente 25 minutos) quedaba una máscara de aluminio 19 de 200 nm de espesor, pero solo quedaban 55 nm de la capa de nitruro de silicio 17, habiéndose eliminado 165 nm por el ataque con vapor de HF.

El solicitante ha descubierto que la introducción de un gas compuesto de hidrógeno, p. ej. gas de hidrógeno (H<sub>2</sub>) de la fuente 7 proporciona un medio para aumentar la selectividad frente al nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) durante el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) del dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>). A modo de ejemplo, una MEMS que comprende de nuevo una capa de dióxido de silicio 18 HDP de 1 µm de espesor, una capa de nitruro de silicio LPCVD 17 de 220 nm de espesor y una máscara de aluminio 19 de 200 nm de espesor se sometió de nuevo a ataque con vapor de HF dentro de la cámara de proceso 3, a una temperatura operativa de 25 °C y a una presión de la cámara de proceso de 18T, para producir un corte inferior de 10 µm. Sin embargo, en esta ocasión también se suministró a la cámara de proceso 100 cm<sup>2</sup> de hidrógeno gaseoso (H<sub>2</sub>). Al finalizar el ataque con vapor de HF (aproximadamente 25 minutos) quedó nuevamente una máscara de aluminio 19 de 200 nm de espesor, pero ahora la capa restante de óxido de nitruro de silicio tenía 210 nm de espesor, es decir, solo se habían eliminado 10 nm. Esto representa una mejora de 16,5 veces en la selectividad de ataque entre la capa de dióxido de silicio 18 y la capa de nitruro de silicio 17 en comparación con el mismo proceso en ausencia del gas hidrógeno.

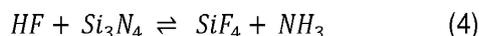
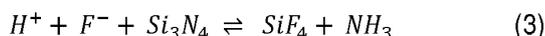
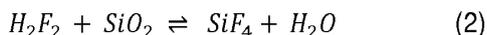
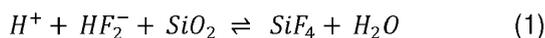
Otros gases compuestos de hidrógeno como amoníaco (NH<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) o etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) se han empleado como alternativa para proporcionar una mayor selectividad frente a la capa de nitruro de silicio 17. Sin embargo, en la práctica, se han logrado los mejores resultados utilizando gas hidrógeno. Se apreciará que el gas compuesto de hidrógeno puede comprender mezclas de dos o más de los compuestos de gas hidrógeno mencionados anteriormente.

El solicitante también ha descubierto que reducir la temperatura operativa de la cámara de proceso también proporciona un medio para aumentar la selectividad frente al nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) durante el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) del dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>). En esta ocasión, películas de cobertura en una muestra estándar se sometieron a ataque y se examinó la selectividad a diferentes temperaturas. Las películas empleadas para estas pruebas comprendían capas de dióxido de silicio térmico y nitruro de silicio PECVD. Empleando la fórmula estándar a 25 °C descrita anteriormente, la selectividad de ataque fue de 11:1 para esta estructura de prueba. Sin embargo, al enfriar la muestra de prueba a 10 °C y reajustar la presión de la cámara para obtener la misma velocidad de ataque que anteriormente, la selectividad del ataque aumentó a 38:1.

Se llevaron a cabo pruebas en un intervalo de temperaturas para investigar más a fondo las mejoras en la selectividad frente al nitruro de silicio durante un ataque con vapor de HF de dióxido de silicio. Se observaron mejoras sorprendentemente notables para temperaturas de funcionamiento de hasta 20 °C.

El lector experto apreciará que los procedimientos anteriores pueden combinarse, es decir, además de introducir un gas compuesto de hidrógeno en la cámara de proceso 3, la temperatura operativa puede reducirse simultáneamente por debajo de 20 °C. El efecto general es mejorar aún más la selectividad frente al nitruro de silicio durante un ataque con vapor de HF del dióxido de silicio.

A continuación, se proporciona una explicación de los resultados observados. Los estudios teóricos sugieren que la principal contribución al ataque del dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) implican las especies reactivas de difluoruro dentro del vapor de HF (HF<sub>2</sub><sup>-</sup> y H<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) mientras que la principal contribución al ataque del nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) se cree que son las especies reactivas de monofluoruro (F<sup>-</sup> y HF). Estos procesos de ataque pueden describirse mediante las siguientes ecuaciones de reacción:



Se cree que el gas compuesto de hidrógeno generalmente tiende a reaccionar más fácilmente con las especies de monofluoruro (F<sup>-</sup> y HF) del vapor de HF que con las especies de difluoruro (HF<sub>2</sub><sup>-</sup> y H<sub>2</sub>F<sub>2</sub>). Así, la introducción de dicho gas secundario actúa para desplazar el equilibrio de las especies reactivas de HF hacia las especies de difluoruro (HF<sub>2</sub><sup>-</sup> y H<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) es decir, la proporción entre especies reactivas de difluoruro (HF<sub>2</sub><sup>-</sup> y H<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) y especies

reactivas de monofluoruro ( $F^-$ , y HF) se incrementa. Se cree que este efecto conduce al aumento observado en la selectividad al nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ) durante el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) del dióxido de silicio ( $SiO_2$ ).

5 Una contribución secundaria también puede estar presente cuando el amoníaco ( $NH_3$ ) se emplea como gas compuesto de hidrógeno. Las ecuaciones de reacción (3) y (4) muestran que el amoníaco ( $NH_3$ ) se produce como un subproducto del ataque de vapor de HF del nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ). Así, la introducción de amoníaco ( $NH_3$ ) tiende a impedir el ataque del nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ).

10 Debido a los efectos de entropía, se cree que la reducción de la temperatura operativa del proceso de ataque de vapor de HF por debajo de  $20\text{ }^\circ\text{C}$  también da como resultado el equilibrio de las especies reactivas de HF que se desplazan hacia las especies de difluoruro ( $HF_2^-$  y  $H_2F_2$ ) es decir, la proporción entre especies reactivas de difluoruro y especies reactivas de monofluoruro se incrementa nuevamente. De nuevo, se cree que esto explica el aumento observado en la selectividad frente al nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ) durante el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) del dióxido de silicio ( $SiO_2$ ).

15 También puede existir una contribución secundaria cuando el vapor de agua ( $H_2O$ ) se emplea como catalizador. Cuando se reduce la temperatura operativa, el vapor de agua comienza a condensarse en las superficies expuestas de la MEMS 5. Dado que el vapor de agua ( $H_2O$ ) actúa como un catalizador para el ataque de vapor de HF del dióxido de silicio ( $SiO_2$ ), ecuaciones de reacción (1) y (2), se cree que los efectos de condensación actúan aumentando el ataque del dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) con respecto al ataque del nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ).

20 Como se describió anteriormente, otra serie de factores afectarán al rendimiento de un ataque de vapor de HF, p. ej. caudales de gas, presión de la cámara de proceso 3 y la estructura física de la MEMS. Sin embargo, al agregar un gas secundario adecuado y/o reducir la temperatura operativa para el ataque con vapor de HF, la proporción entre especies de difluoruro ( $HF_2^-$  y  $H_2F_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $F^-$ , y HF) se incrementa. Como resultado, los solicitantes han podido demostrar una selectividad significativamente mejorada frente al nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ) durante el ataque con vapor de fluoruro de hidrógeno (HF) del dióxido de silicio ( $SiO_2$ ). Incluso se ha visto que pequeñas cantidades de gas hidrógeno marcan una diferencia significativa en esta selectividad.

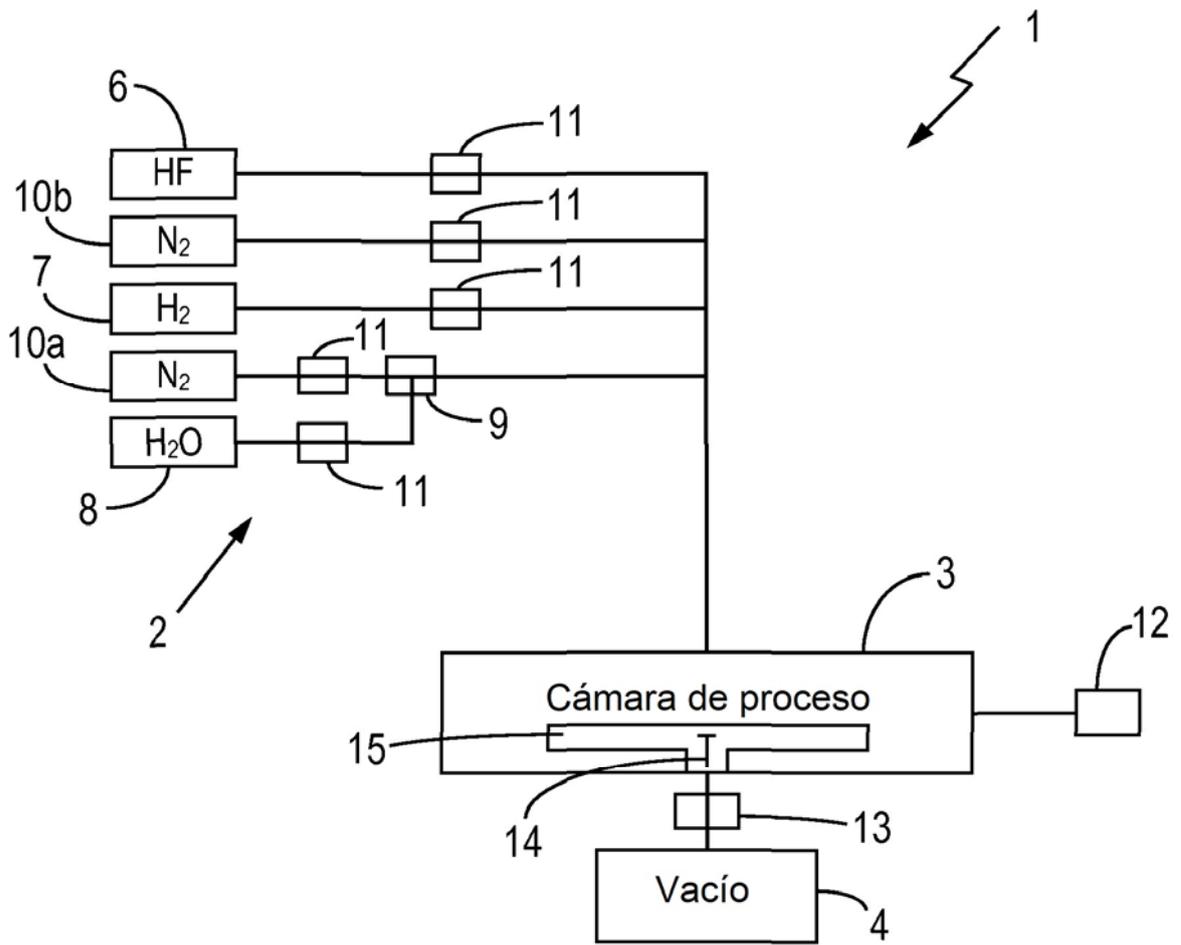
25 Si bien las realizaciones descritas anteriormente emplean una bomba de vacío que bombea gases portadores, vapor de ataque, subproducto de ataque y el gas compuesto de hidrógeno secundario fuera de la cámara de proceso, creando así un flujo de agente de ataque e hidrógeno a través de la misma, también se prevé que el gas de ataque y el gas compuesto de hidrógeno puedan recircularse.

30 El ataque de una parte de dióxido de silicio ( $SiO_2$ ) de sacrificio en una microestructura tal como una estructura microelectromecánica (MEMS) mediante el uso de un gas de ataque, concretamente vapor de fluoruro de hidrógeno (HF), se realiza con mayor selectividad frente a otras partes dentro de la MEMS, y en particular partes de nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ). Esto se logra mediante la adición de un gas secundario que no es de ataque adecuado para aumentar la proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $HF_2^-$  y  $H_2F_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $F^-$ , y HF) dentro del vapor de HF. El gas secundario que no es de ataque puede comprender un gas compuesto de hidrógeno. La proporción entre especies reactivas de difluoruro ( $HF_2^-$  y  $H_2F_2$ ) y especies reactivas de monofluoruro ( $F^-$  y HF) dentro del vapor de HF también se puede aumentar estableciendo una temperatura operativa de ataque por debajo de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

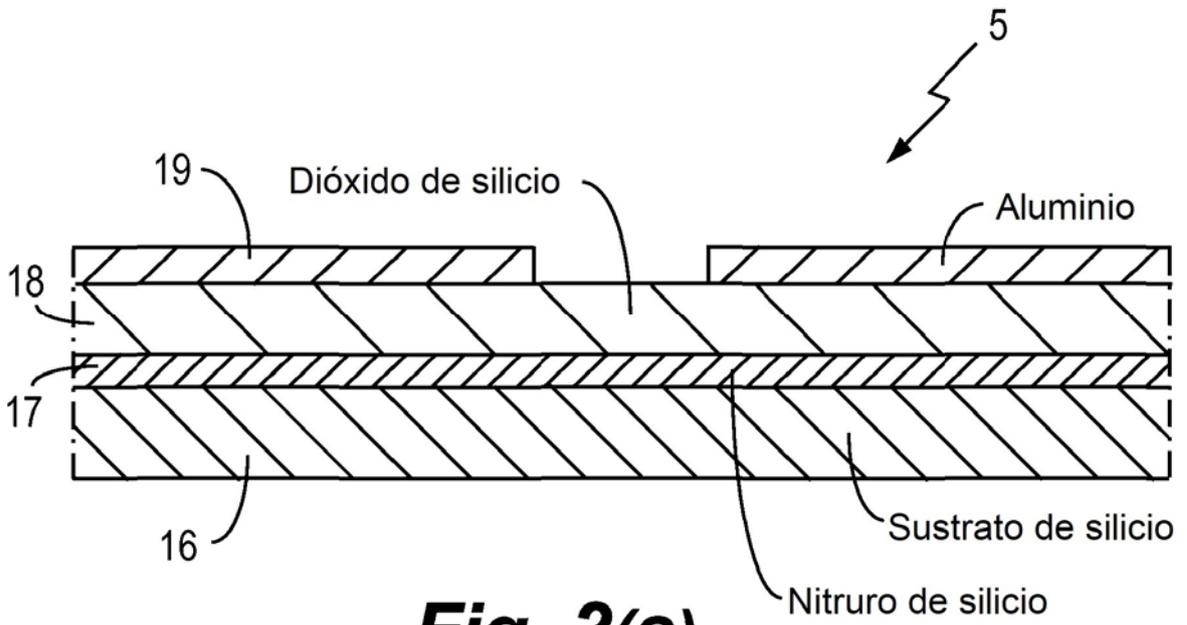
45

## REIVINDICACIONES

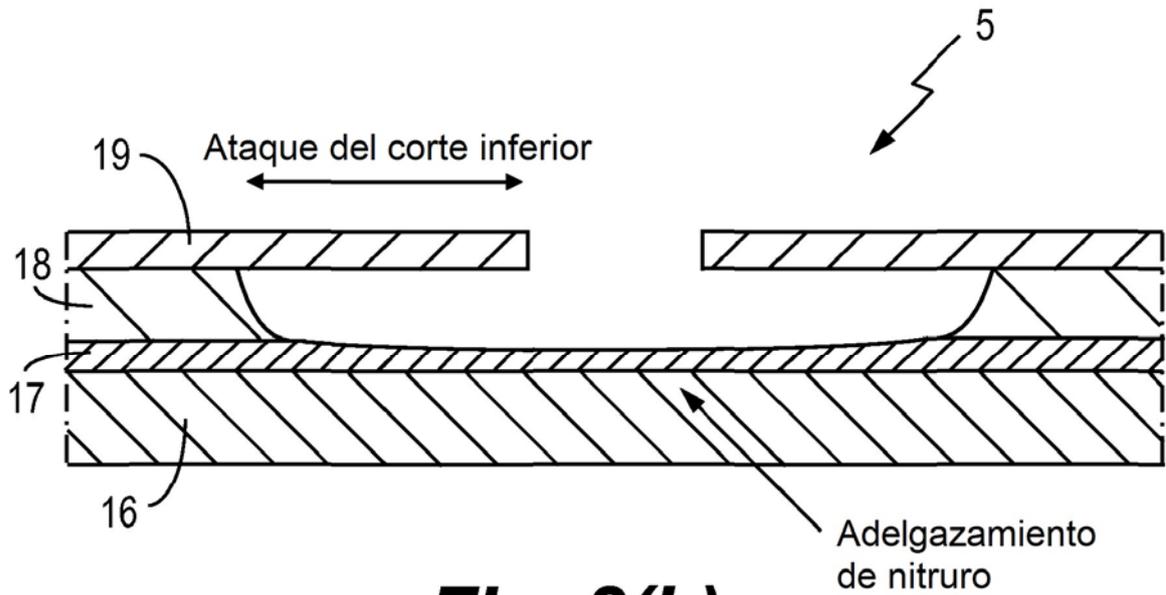
- 5 1. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) en una cámara de proceso (3) para producir una o más microestructuras (5), comprendiendo el método:
- proporcionar a la cámara de proceso (3) un vapor de ataque (6) que comprende fluoruro de hidrógeno (HF); y **caracterizado por que** la temperatura operativa de ataque se establece por debajo de 20 °C.
- 10 2. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según la reivindicación 1, en el que el método comprende además proporcionar a la cámara de proceso (3) un gas que no es de ataque (7).
- 15 3. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según la reivindicación 2, en el que el gas que no es de ataque (7) comprende un gas compuesto de hidrógeno.
- 20 4. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según la reivindicación 3, en el que el compuesto de hidrógeno comprende un compuesto seleccionado del grupo de compuestos que comprende hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) y sus mezclas.
- 25 5. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura operativa de ataque se establece en 10 °C.
6. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende además proporcionar a la cámara de proceso un catalizador (8).
- 30 7. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según la reivindicación 6, en el que el catalizador (8) comprende vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).
- 35 8. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende además controlar la cantidad de vapor de ataque (6) dentro de la cámara de proceso (3) controlando la velocidad de la bomba de vacío fuera de la cámara de proceso (3).
- 40 9. Un método de ataque selectivo de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, en el que el método comprende además controlar la cantidad de gas que no es de ataque (7) dentro de la cámara de proceso (3) controlando la velocidad de la bomba de vacío fuera de la cámara de proceso (3).
- 45 10. Un método de ataque de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el método comprende hacer circular el vapor de ataque (6) a través de la cámara de proceso (3).
- 50 11. Un método de ataque de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el método comprende hacer circular el gas que no es de ataque (7) a través de la cámara de proceso (3).
12. Un método de ataque de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) (18) frente al nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) (17) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende la provisión de una máscara (19) que recubre el dióxido de silicio (18) para permitir el ataque selectivo del dióxido de silicio (18).



**Fig. 1**



**Fig. 2(a)**



**Fig. 2(b)**