

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 680 906**

51 Int. Cl.:

**B81C 1/00** (2006.01)

**B01L 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2010 PCT/EP2010/070084**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2011 WO11073393**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2010 E 10798074 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2512977**

54 Título: **Método para taponar un orificio**

30 Prioridad:

**18.12.2009 SE 0901586**

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

**11.09.2018**

73 Titular/es:

**CIRCASSIA AB (100.0%)  
Hansellisgatan 13  
75450 Uppsala, SE**

72 Inventor/es:

**FISCHER, ANDREAS;  
STEMME, GÖRAN;  
NIKLAUS, FRANK y  
ROXHED, NIKLAS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 680 906 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 para taponar un orificio

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a una tecnología para crear tapones para orificios y cavidades.

Antecedentes de la técnica

10 La integración de líquidos ya en la etapa de la microfabricación es una nueva característica favorable para MEMS con aplicaciones a dispositivos de ciencias de la vida, sensores de alta sensibilidad donde el estado líquido puede mejorar las capacidades de detección, y lentes de MEMS. Ejemplos específicos incluyen sistemas de administración de fármacos basados en MEMS que están prellenados con fármacos o soluciones de proteínas, sensores electroquímicos basados en líquidos que usan electrolitos líquidos que permiten niveles de sensibilidad en el intervalo de ppb y lentes ópticas miniaturizadas. Las dificultades relacionadas con la integración de líquidos en MEMS a menudo se relacionan con el presupuesto de temperatura disminuida en el procesamiento que se produce cuando el líquido se integra. Esto puede ser tan bajo como 37 °C para materiales sensibles o vivos, por ejemplo, en aplicaciones de ciencias de la vida. En los esquemas de integración de nivel de oblea tradicionales, el líquido se tapa herméticamente dentro de la cavidad durante el proceso de unión de la oblea. Esto obliga a la formación y al sellado de la cavidad, es decir, a la unión de la oblea, a utilizar procesos a temperatura ambiente, específicamente adhesión de oblea adhesiva.

25 Se ha utilizado previamente el sellado hermético de líquidos a temperatura ambiente a nivel de oblea mediante estampado de anillo de oro, donde un anillo de oro más pequeño en una oblea se comprime hacia, y parcialmente se incrusta en, un anillo de oro más grande en la otra oblea. También se ha mostrado soldadura en frío de anillos de sellado de oro superpuestos con ángulos de pared lateral de pendiente negativa. Ambos métodos sellan el líquido en la cavidad durante la unión de oblea y requieren una estabilización mecánica adicional posteriormente. Esto fue implementado usando faltas de relleno de polímero. Estos métodos tienen la ventaja de que pueden ser más herméticos que la unión de oblea adhesiva pura, ya que el sello es metálico en lugar de polimérico. Una posible limitación es el hecho de que el líquido se pipeteó en cada cavidad mediante un proceso en serie. Esto fue abordado recientemente usando un método de formación de cavidades y sellado de cavidades con las obleas sumergidas en el líquido a integrar. Sin embargo, este método no es adecuado cuando se compara con el pipeteo en serie para algunas aplicaciones. Estas aplicaciones podrían ser soluciones integradas que pueden contaminar o alterar la superficie con la que entran en contacto, por ejemplo, proteínas que ensucian la superficie, o cuando existe el riesgo de contaminar el líquido del propio proceso de "unión por inmersión". El método de pipeteo también tiene la ventaja de poder integrar dos líquidos, una necesidad para la lente mencionada anteriormente.

40 Por lo tanto, existe la necesidad en envases de dispositivos MEMS (sistemas electromecánicos micro) para proporcionarles con envases herméticos, ya sea para proteger sus estructuras de entornos externos severos y/o para asegurar condiciones atmosféricas especiales o líquidos sensibles a la temperatura en el interior del envase para garantizar la funcionalidad del dispositivo.

45 Técnicas de unión a nivel de oblea se usan ampliamente para este propósito. Las técnicas convencionales como unión por fusión, unión por compresión, unión anódica o unión eutéctica requieren altas temperaturas, altas presiones, alta tensión o condiciones especiales de la superficie. Dichas técnicas contienen incompatibilidades de procesos con muchos dispositivos MEMS y no son compatibles con los procesos de fabricación microelectrónicos estándar. El sellado hermético de dispositivos MEMS y/o circuitos microelectrónicos de acuerdo con el estado de la técnica da altos costes de fabricación.

50 El documento US2006115323 se refiere a métodos y dispositivos para sellar partes entre sí, y más particularmente a métodos de sellado hermético para dispositivos y/o dispositivos médicos implantables. El documento US 2006115323 divulga un método para comprimir dos sustratos, donde un primer sustrato que tiene al menos una primera estructura de unión que comprende una primera superficie de unión, cuya superficie comprende un primer metal, se comprime junto con un segundo sustrato que tiene al menos una segunda estructura de unión que comprende una segunda superficie de unión, cuya superficie comprende un segundo metal; deformando y cortando las superficies de unión en una o más interfaces en una cantidad efectiva para formar una unión de metal con metal entre el primer metal y el segundo metal de las superficies de unión. El documento US2008000948 A1 muestra un método para sellar una abertura de una cavidad. El método comprende proporcionar una pieza de material, teniendo la pieza de material una dimensión mayor que dicha abertura, presionar dicha pieza de material contra el sustrato centrado en la abertura usando una herramienta de unión de alambre y retirar la herramienta de la pieza de material.

65 Una gran cantidad de esfuerzo se ha invertido para desarrollar métodos de unión compatibles con los procesos microelectrónicos estándar. Las técnicas más nuevas, como la unión por calentamiento localizado, requieren estructuras y etapas de fabricación complicadas. El sellado de las cavidades con unión por soldadura afecta a la

atmósfera dentro de la cavidad. El uso de técnicas de unión adhesiva a baja temperatura no logra cavidades herméticamente tapadas.

5 Por lo tanto, se necesita una tecnología para taponar herméticamente cavidades mediante sellado de nivel oblea o chip de los orificios de la cavidad para sellar gas, vacío o líquido que llena las cavidades a bajas temperaturas.

#### Sumario de la Invención

10 Es un objeto de la presente invención obviar al menos algunas de las desventajas de la técnica anterior y proporcionar un método mejorado para insertar al menos parcialmente un tapón en un orificio, así como un orificio taponado.

En un primer aspecto, se proporciona un método para sellar un orificio, de acuerdo con la reivindicación 1.

15 Otros aspectos y realizaciones se definen en las reivindicaciones adjuntas.

Una ventaja de una realización es que una tecnología de unión por alambre industrialmente disponible puede ser utilizada para taponar diversas cavidades. La tecnología de unión por alambre existente hace que el proceso sea rápido y económico.

20 Breve descripción de los dibujos

Ahora se describe la invención, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

25 Las figuras 1a-v muestran diversas realizaciones de orificios taponados.

30 La figura 2 muestra la medición hecha con un perfilómetro óptico de la deflexión de la membrana a lo largo del tiempo para evaluar el taponado. El dispositivo 4 tiene una fuga fina de aproximadamente  $6 \cdot 10^{-8}$  mbarL/s. Las variaciones de deflexión de las cavidades tapadas se ajustan bien a las variaciones de presión atmosférica. La tasa de fuga de las cavidades tapadas está por debajo del límite de detección, que en estas condiciones es de  $6 \cdot 10^{-12}$  mbarL/s por puerto taponado.

35 La figura 3 representa una realización con un proceso de taponado de unión de alambre de oro. Una bola de oro se forma mediante una descarga eléctrica, la bola está unida al sustrato por la fuerza y la energía ultrasónica se aplica con el capilar unido, el cable se corta mediante un movimiento horizontal (es decir, un movimiento paralelo a la superficie del sustrato) del capilar de unión, produciendo un dispositivo taponado.

40 La figura 4 muestra una imagen SEM en sección transversal de una realización con un puerto de acceso taponado.

45 Las figuras 5a y b muestran una realización en la que se coloca una unión de alambre en la superficie o estructura inferior 6 de un orificio pasante y se proporciona un alambre metálico que comprende una segunda bola de alambre 1 en el borde superior del orificio pasante. La bola de alambre tiene un diámetro mayor que el orificio y, en un proceso en serie o paralelo, la(s) bola(s) se presiona(n) en el orificio (con fuerza/presión y con o sin la ayuda del aumento de temperatura), y proporcionan así un sustrato pasante que sella herméticamente el lado frontal y el lado posterior del sustrato 2. En una realización, el sustrato está provisto de un recubrimiento 12.

50 Las figuras 5c y d muestran una realización con una primera unión de bola con un tamaño de bola mayor que el orificio. El proceso de unión deforma la pieza de material 1 de manera tal que la conexión mecánica tiene lugar en las paredes laterales del orificio. Por lo tanto, este proceso no requiere una superficie unible 6 en el fondo de la cavidad. La segunda pieza (superior) de material 1 se aplica, por ejemplo, como en la realización descrita en las figuras 5a y b.

55 La figura 6 muestra la resistencia al corte de tapones unidos por alambre para diferentes dimensiones de orificios. Las uniones en una superficie no estructurada se muestran en  $x = 0$  mm para referencia. Las barras de errores corresponden a 1 sigma.

60 La figura 7 muestra una vista en sección transversal de un tapón unido por alambre en un puerto de acceso de fluido. El chip completo se incrustó en PMMA y se pulió hasta que se alcanzó el centro del puerto de acceso. El diámetro del puerto es de 30 mm.

#### Descripción detallada

65 Antes de que la invención se divulgue y se describa en detalle, se debe entender que esta invención no se limita a compuestos particulares, configuraciones, etapas de método, sustratos, y los materiales divulgados en el presente documento como tales compuestos, configuraciones, etapas de método, sustratos, y materiales pueden variar algo.

También entenderse también que la terminología usada en este documento se utiliza para el propósito de describir solamente realizaciones particulares y no pretende ser limitativa, ya que el alcance de la presente invención está limitado solamente por las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

5 Debe indicarse que, tal como se utiliza en esta memoria y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un", "una" y "el", "la" incluyen los referentes plurales a menos que el contenido dicte claramente lo contrario.

Si no se define nada más, se pretende que los términos y la terminología científica utilizados en este documento tengan los significados comúnmente entendidos por los expertos en la técnica a la que pertenece esta invención.

10 El término "aproximadamente" como se usa en relación con un valor numérico en toda la descripción y en las reivindicaciones indica un intervalo de precisión, familiar y aceptable para una persona experta en la técnica. Dicho intervalo es de  $\pm 10\%$ .

15 "Cavidad" se usa en el presente documento para indicar un espacio en un sustrato. Típicamente, una cavidad tiene al menos una abertura al entorno.

"Orificio" se utiliza en el presente documento para indicar una abertura en un sólido. Un ejemplo de un orificio pasante en un sustrato incluye un orificio desde un lado del sustrato hasta otro lado de un sustrato.

20 "Dimensión más grande" se usa en este documento en conexión con, por ejemplo, un orificio para indicar la mayor distancia en sección transversal de un orificio. Para un orificio con una sección transversal circular, corresponde al diámetro, para un orificio con una sección transversal cuadrada corresponde a la diagonal.

25 "Tapón" se usa en el presente documento para referirse a un dispositivo destinado a ser insertado en un orificio. Un tapón puede ser un sello.

"Sello" se usa en el presente documento para indicar un dispositivo que, al menos en cierta medida, impide las fugas de material, tal como un fluido a través de un orificio taponado.

30 En un primer aspecto, se proporciona un método para sellar un orificio de acuerdo con la reivindicación 1.

35 En una realización, dicho al menos un orificio tiene una dimensión más grande de 1 a 200  $\mu\text{m}$ . En otra realización, dicho al menos un orificio tiene una dimensión mayor de 1 a 150  $\mu\text{m}$ . En una realización alternativa, dicho al menos un orificio tiene una dimensión mayor de 10 a 150  $\mu\text{m}$ . En una realización alternativa, dicho al menos un orificio tiene una dimensión mayor de 5 a 50  $\mu\text{m}$ . En aún una realización alternativa, dicho al menos un orificio tiene una dimensión mayor de 5 a 150  $\mu\text{m}$ . En una realización, dicho al menos un orificio tiene un diámetro de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . En una realización, dicho al menos un orificio comprende al menos una estructura de rebaje para mejorar la deformación de dicha pieza de material. Un ejemplo de un rebaje 8 en el sustrato 2 se representa en la figura 1i. Esto tiene la ventaja de simplificar la deformación de la pieza de material. En una realización, el interior de dicho al menos un orificio está al menos parcialmente ahusado. Ejemplos de tales realizaciones se muestran en las figuras 1g, h, y j. Esto tiene la ventaja de crear un tapón que se fija mejor al sustrato.

45 En una realización, el material se somete a al menos uno seleccionado de calor, y ultrasonidos antes de presionar dicha pieza de material contra el orificio. En una realización, el material se somete a al menos uno seleccionado de calor y ultrasonidos durante la presión de dicha pieza de material contra el orificio. Combinaciones de la realización anterior también están abarcadas. Esto facilitará la formación del material en un tapón.

50 En una realización, el material se funde en una pieza de material con dimensión mayor que dicho al menos un orificio. Alternativamente, una pieza de material se presiona contra el orificio sin fundirse. En otra alternativa más, se presiona un alambre contra el orificio. En una realización, el material se proporciona como un alambre.

55 En una realización, el sustrato antes de formar dicho tapón está recubierto al menos parcialmente con al menos un metal en la región de dicho al menos un orificio. La figura 1k representa una realización en la que dos recubrimientos 7 y 6 se aplican al sustrato 2 en una región alrededor del orificio antes del taponado. En una realización, un sustrato no metálico se recubre con un metal. Esto tiene la ventaja de que se puede crear un sello metal-metal siempre que dicha pieza de material sea de metal.

60 En una realización, dicho material es un metal. En una realización, dicho material se selecciona de Au, Al, Cu y Ni. Estos metales tienen la ventaja de poder fundirse con un arco eléctrico y propiedades de flujo adecuadas. En una realización, dicho material es una aleación de metal que comprende al menos un metal seleccionado del grupo que consiste en Au, Al, Cu y Ni.

65 En una realización, dicho material es un material orgánico, preferiblemente un material polimérico.

En una realización, dicho material es un material inorgánico, preferiblemente seleccionado del grupo que consiste en vidrio y cerámica.

En una realización, dicho sustrato comprende al menos uno de a) un metal, y b) una cerámica.

En una realización, dicha pieza de material se funde por electricidad. En una realización, dicha pieza de material se funde creando un arco eléctrico. En la figura 3, se representa una realización en la que se usa un arco eléctrico para fundir la pieza de material. En la realización representada en la figura 3, el material es conductor y se proporciona en forma de un alambre. El arco eléctrico se crea entre el alambre y un electrodo.

En una realización, dicha pieza de material se proporciona en forma de un alambre. Esta realización se representa en la figura 3.

En una realización, dicha pieza de material se funde y se enfría posteriormente después de la fusión y antes de presionar dicha pieza de material contra dicho orificio. En una realización, se enfría a temperatura ambiente. En otra realización, se enfría a una temperatura por debajo de 100 °C. En una realización, se enfría por debajo de 75 °C. En una realización, se enfría por debajo de 50 °C. En una realización, se enfría por debajo de 40 °C. En una realización, se enfría por debajo de 37 °C. En una realización, se enfría por debajo de 25 °C. Es una ventaja proporcionar una posibilidad de taponar la cavidad a baja temperatura con respecto a la materia sensible a la temperatura en la cavidad. En una realización alternativa, dicha pieza de material no se enfría significativamente después de la fusión y antes de presionar dicha pieza de material contra dicho orificio.

En una realización, el tapón es un sello hermético. En una realización, el tapón es un conductor. En una realización, el tapón es un electrodo.

En una realización, se utiliza un alambre cuando se forma el tapón y dicho alambre está en una realización recubierto, preferiblemente, dicho recubrimiento se selecciona del grupo que consiste en un recubrimiento químico, un recubrimiento bioquímico, y un recubrimiento eléctrico. El recubrimiento es, en una realización, un producto químico que incluye, pero no se limita a, un recubrimiento catalítico y captador. El recubrimiento es en una realización un recubrimiento bioquímico que incluye, pero no se limita a, anticuerpos, moléculas de fármaco y enzimas. El recubrimiento es, en una realización, un recubrimiento eléctrico que incluye, pero no se limita a, un conductor, un aislante, un recubrimiento dieléctrico y un recubrimiento de metal.

En un ejemplo que no forma parte de la invención, se proporciona el material como un alambre y el alambre alcanza en el volumen después del taponado. Ejemplos de tales realizaciones se representan en la figura 1n y o, respectivamente. En una realización, al menos una parte de dicha pieza de material actúa como un material captador de vacío.

En una realización, el material se proporciona como un alambre y el alambre está unido mediante unión por balón y/o unión de cuña en la proximidad del orificio, de modo que el alambre cubre al menos parcialmente el orificio. Posteriormente, el material se presiona en el orificio.

En una realización, al menos un canal está en comunicación con dicho orificio. Este canal puede ser usado para varios propósitos. Un ejemplo de dicho canal 5 se representa en la figura 1b.

Según la invención, dicho al menos un orificio es la apertura de una cavidad. En una realización, dicha cavidad se llena con un fluido antes de taponar el orificio. En una realización, dicha cavidad está bajo vacío después del taponado. En una realización, dicha cavidad comprende una sobrepresión después del taponado.

Para realizaciones en las que una cavidad está bajo vacío después de taponar, el tapón se presiona preferentemente una vez más contra el orificio, mientras está aún bajo vacío. En un ejemplo que no forma parte de la invención, dicha pieza de material se presiona contra el sustrato centrado en el orificio. En una realización de la invención, dicha pieza de material se presiona contra el sustrato centrado en un punto adyacente al orificio. Las figuras 1q y r, así como las figuras 1s y t dan ejemplos de tales realizaciones.

Una realización con dicha pieza de material adyacente al centro del orificio permite el sellado de cavidades de vacío o cavidades con sobrepresión. En una realización, dicho material, después de ser presionado sobre el sustrato, se presiona adicionalmente con una herramienta plana que opera en una cámara controlable por presión. Las figuras 1m, 1n, 1o, 1q, 1r, 1s, 1t, 1u y 1v dan ejemplos de tales realizaciones. En la industria de los semiconductores, una herramienta de este tipo se conoce como la llamada unión de sustrato o unión de oblea. En la invención descrita en el presente documento, esta unión permite el sellado a nivel de oblea de muchas cavidades simultáneamente en una atmósfera diferente de 101325 Pa (1 atm) de presión absoluta, por ejemplo, vacío o sobrepresión.

En una realización, dicha cavidad se forma en un único sustrato 2 mediante bajo grabado de al menos un orificio de entrada. Ejemplos de tales realizaciones se representan en las figuras 1c y p, respectivamente.

5 En una realización, dicho al menos un sustrato es una parte de un dispositivo seleccionado del grupo que consiste en un giroscopio, un acelerómetro, un detector de IR, un sensor que comprende un electrolito líquido, un sistema de administración de fármacos, un accionador que comprende líquido, una lente óptica que comprende un líquido y un obturador. Este método puede usarse para la fabricación de diversos circuitos integrados destinados a ser utilizados en vacío.

10 En una realización se aplica al menos un recubrimiento adicional sobre al menos una parte del sustrato taponado. Las figuras 1e, f, g y h muestran realizaciones en las que se aplican recubrimientos adicionales 6, 7 después del taponado. De este modo, se crea una capa adicional en el tapón, añadiendo propiedades adecuadas al tapón dependiendo de la elección del recubrimiento adicional.

15 En una realización, dicho sustrato 2 comprende orificios pasantes y está unido a otro sustrato 4 para crear una cavidad. Las figuras 1a, b, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, q, r, muestran ejemplos de tales realizaciones. Esto tiene la ventaja de proporcionar un método adecuado para la fabricación de una cavidad.

En un ejemplo que no forma parte de la invención, dicha pieza de material se presiona contra el sustrato centrado en el orificio. En una realización de acuerdo con la invención, dicha pieza de material se presiona contra el sustrato centrado en un punto adyacente al orificio. Las figuras 1q y r dan ejemplos de tales realizaciones.

20 En un ejemplo que no forma parte de la invención, una pieza de material se presiona contra dicho orificio en dicho sustrato desde ambos lados. Las figuras 1u y v dan un ejemplo de una realización de este tipo.

25 La herramienta que se utiliza para presionar la pieza de material contra el orificio es, en una realización, una máquina de unión por alambre disponible comercialmente. Una realización de la herramienta utilizada para presionar la pieza de material contra el orificio se representa en la figura 3. La figura 4 muestra una realización en la que se ha utilizado un alambre de unión para crear el tapón. En una realización, se presiona una herramienta plana contra la pieza de material. Ejemplos de tales realizaciones se representan en las figuras 1m, n, q, r, s, t, u y v. En una realización, se presiona otra herramienta contra la pieza de material. En una realización, se presiona una herramienta plana contra el tapón después del taponado.

30 En una realización, la herramienta es capaz de realizar unión por bola, en una realización la herramienta es capaz de realizar unión en cuña. En otra realización más, la herramienta puede realizar tanto unión por bola como unión en cuña.

35 En una realización, la pieza de material se somete a ondas de sonido ultrasónicas durante al menos una parte de dicha presión de dicha pieza de material contra el orificio.

40 En una realización, dicha herramienta se retira de dicha pieza de material con un movimiento paralelo a la superficie del sustrato. Paralelo a la superficie de la superficie del sustrato debe interpretarse como perpendicular a una normal de la superficie del sustrato en la región del orificio. Esto separará la pieza de material de la herramienta.

45 En una realización, la al menos una sustancia se pone en dicho orificio antes de que dicha pieza de material se presione contra dicho orificio, preferiblemente dicha sustancia comprende un material captador de vacío. Por lo tanto, se proporciona la posibilidad de agregar un material captador de vacío a una cavidad y luego sellar la cavidad herméticamente con un tapón.

50 En un segundo aspecto no cubierto en las reivindicaciones, se proporciona un orificio taponado fabricado proporcionando una pieza de material, en el que dicha pieza de material tiene una dimensión mayor que dicho al menos un orificio, en el que dicha pieza de material ha sido presionada contra el orificio con una herramienta, de modo que al menos una parte de dicho material esté en dicho orificio formando un tapón, teniendo dicho orificio una dimensión mayor de 1  $\mu\text{m}$  a 300  $\mu\text{m}$ .

55 Las características y la realización descrita anteriormente para el método de taponado de un orificio también se aplican para el orificio taponado.

En una realización, dicho tapón está adaptado para ser abierto mediante al menos uno seleccionado de presurización, disolución electroquímica, y aplicación de una fuerza.

60 En una realización, la superficie del sustrato 2 comprende al menos parcialmente metal, y en el que dicha pieza de material comprende metal y forma una unión metálica con dicho metal sobre la superficie del sustrato.

Otras características y usos de la invención y sus ventajas asociadas serán evidentes para una persona experta en la técnica al leer la descripción y los ejemplos.

Se ha de entender que esta invención no se limita a las realizaciones particulares mostradas en el presente documento. Los siguientes ejemplos se proporcionan con fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la invención, dado que el alcance de la presente invención está limitado solo por las reivindicaciones adjuntas.

## 5 Ejemplos

### Ejemplo 1

Se ha demostrado que este método taponando el puerto de acceso a cavidades mecanizadas grandes micro a granel de 50  $\mu\text{l}$  (11 x 11 x 0,4 mm). Los diámetros de los puertos de acceso probados estaban entre 20 y 55  $\mu\text{m}$ . Este fue elegido para adaptarse al alambre de unión de 25  $\mu\text{m}$  de diámetro, que podría formar bolas de aire libre de hasta aproximadamente 75  $\mu\text{m}$  de diámetro. Los puertos de acceso se colocaron sobre las paredes laterales inclinadas grabadas con KOH, donde el silicio es más grueso, ya que el capilar de unión de alambre aplica una presión cuando se forma la unión de alambre. Se probaron diseños con solo dos puertos de acceso y con hasta 80 puertos distribuidos a lo largo del borde de la cavidad.

Un demostrador taponador de líquido se fabricó de acuerdo con el esquema de proceso indicado en la figura 2. Se usaron obleas de silicio de 100 mm de diámetro y 550  $\mu\text{m}$  de espesor para sustratos de cavidades. Se definió una máscara dura en el lado posterior de la oblea en una capa de dióxido de silicio crecida térmicamente usando una máscara fotorresistente y grabado en seco en un plasma basado en CHF<sub>3</sub>/CF<sub>4</sub>. Se formaron cavidades de 400  $\mu\text{m}$  de profundidad mediante grabado con KOH, seguido de una retirada de dióxido de silicio húmedo en HF taponado. Las cavidades se taponaron al vacío mediante unión anódica a una oblea de Pyrex. Orificios circulares fueron grabados con iones reactivos profundos en el lado superior del silicio hacia abajo en las cavidades usando una máscara fotorresistente de 7  $\mu\text{m}$  de espesor. El lado superior de la pila de obleas y la parte superior de los puertos de acceso se metalizaron a continuación mediante deposición por pulverización catódica de 100/500 nm de TiW/Au. Las cavidades abiertas se evacuaron y se llenaron, a escala de oblea, con agua teñida de rojo. La oblea se secó con nitrógeno seco y una tela sin pelusa. Las cavidades llenas se taponaron taponando los puertos de acceso uniendo por alambre una "protuberancia" en la parte superior de los orificios. El proceso de unión de bola se ilustra en la figura 3. Una bola de aire libre se forma inicialmente en el extremo del alambre de oro mediante una descarga eléctrica al alambre de oro. La bola formada está unida al sustrato con la ayuda de fuerza y ultrasonidos. El capilar de unión se mueve entonces perpendicularmente a la superficie del dispositivo mientras todavía está en contacto con la bola unida, cortando el alambre de oro antes de alejarse del sustrato. El taponado se realizó utilizando un elemento de unión de alambre Esec 3100+ totalmente automático (Esec Ltd, Suiza) que opera con una temperatura de sujeción de 40 °C. El elemento de unión de alambre tiene la opción del software llamado "modo de protuberancia" que permite estructuras de impacto de manera automatizada sin ningún ajuste especial del hardware. El rendimiento de la unión de alambre durante el procesamiento fue de hasta 15 taponos/s sin optimizar nada para una velocidad mejorada. Esto se traduce en una velocidad de 7,5 cavidades/s, o en nuestro caso la oblea completa de 100 mm en menos de 4 segundos. La limitación de velocidad primaria es el intervalo de movimiento del cabezal de unión en el elemento de unión de alambre.

El resultado del proceso de taponado se ilustra en la imagen SEM que se muestra como la figura 5. Para comparación, esta figura también muestra un puerto de acceso vacío con un diámetro de 37  $\mu\text{m}$ . El tamaño de bola usado de 75  $\mu\text{m}$  demostró ser suficiente para taponar de manera fiable orificios de menos de 42  $\mu\text{m}$ . La protuberancia se rompería con el alambre durante la unión del alambre para orificios de mayor diámetro. No se esperan problemas en la ampliación del diámetro del alambre de oro, y en consecuencia, el tamaño de la bola y el diámetro del puerto de acceso sellable. La limitación actual en el diámetro del alambre está relacionada con la configuración del elemento de unión de alambre utilizado.

La adhesión mecánica de las uniones de bolas colocadas en orificios con diferentes tamaños de orificio se investigó usando un medidor de corte (2400PC, Dage Ltd., UK). Las uniones colocadas en sustratos sin patrón también se midieron para comparación. El promedio de al menos cinco mediciones y su desviación estándar se trazan para diámetros de orificio de 20 a 42  $\mu\text{m}$  en la figura 6. El aumento en la resistencia al corte para diámetros de orificio más grandes indica que se empujó una cantidad significativa de oro dentro del orificio durante el proceso de unión. Esto también fue confirmado mediante formación de imágenes SEM de una sección transversal de un puerto de acceso taponado, que se muestra en la figura 7. Una pequeña constricción también es visible en la parte superior del puerto de acceso. Como se ve, esto no tuvo un impacto negativo en el llenado del puerto de acceso.

Para investigar la hermeticidad de los taponos, la tasa de fuga absoluta se midió mediante un espectrómetro de masa de helio (Pfeiffer Vacuum GmbH, Alemania) unido a la parte trasera de taponado a través de orificios (sin la oblea de vidrio). La conexión al chip se hizo usando juntas tóricas de caucho con grasa al vacío. Este método solo proporciona la tasa de fuga actual, aunque en un amplio intervalo de medición. Varias pruebas en preformas se hicieron inicialmente utilizando piezas de silicio no estructuradas pulidas. Todos los resultados se muestran en la tabla 1.

65

Tabla 1: Tasas de fugas de helio medidas para diferentes diámetros de orificios, < 40 µm parece producir tapones herméticos

Diámetro del orificio [µm]	Tasa de fuga [ $10^{10}$ mbarL/s]
sin orificios	~1
24	1,4
37	1,2
44	5
48	5
52	74

5 La tasa de fuga, para uniones en orificios con un diámetro inferior a 40 µm, se midió para ser mejor que el nivel de ruido del detector de fugas, que es de  $1 \times 10^{10}$  mbarL/s. Este nivel de tasa de fuga es tres órdenes de magnitud mejor que los requisitos en los paquetes herméticos de este tamaño de acuerdo con el estándar MIL 883F Método de prueba 1014.11. Este criterio de aprobación de métodos está relacionado con tener un tiempo de difusión largo para que el agua entre en una cavidad. Lo mismo es aplicable aquí, pero para un flujo de material en la otra dirección. Por lo tanto, el tapón se considera hermético para aplicaciones de encapsulación de líquidos. Los orificios más grandes tenían tasas de fuga cada vez mayores. Esto es consistente con el comportamiento observado durante la unión de alambre, el rendimiento de la unión en los orificios más grandes era mucho más pobre.

10 Dispositivos taponados y cortados en cubitos se ensayaron adicionalmente en ráfagas calentándolos lentamente sobre una placa caliente. A aproximadamente 130 °C, las tapas de los dispositivos comenzaron a sobresalir notablemente hacia fuera. A aproximadamente 140 °C, falló la unión anódica de 1,9 mm de ancho que rodeaba la cavidad, indicando además una buena fijación mecánica del tapón.

15 En este ejemplo se describe un proceso de taponado. Se ha demostrado que los tapones fabricados son totalmente herméticos para aplicaciones de envasado de líquidos. Los tapones también se probaron minuciosamente de manera mecánica y se demostró que estaban fuertemente unidos. Este método permite que los líquidos se integren y envasen de manera fácil y eficiente en dispositivos MEMS.

20 Ejemplo 2

25 Cavidades de prueba fueron fabricadas utilizando unión anódica. Se usó oxidación térmica para preparar un sustrato de silicio pulido de doble cara. El sustrato se sometió posteriormente a litografía de la parte posterior y grabado de KOH de las cavidades. Todas las capas de dióxido de silicio restantes se retiraron en húmedo. Posteriormente, el sustrato de silicio se unió anódicamente a un sustrato de borofloat. Posteriormente, se utilizó litografía y posterior grabado con iones reactivos profundos para hacer los puertos de acceso. Posteriormente, se depositó oro mediante deposición por pulverización sobre el sustrato de dióxido de silicona.

30 1.) Una descarga eléctrica fundió localmente un alambre de oro y formó una esfera en el extremo del alambre. 2.) La protuberancia de oro se unió con un desplazamiento en el orificio grabado para no cubrir completamente y obstruir el puerto de acceso.

35 Una oblea de Si pulida fue colocada en las protuberancias y la pila se colocó en un elemento de unión de obleas. Después de alcanzar una presión de cámara de  $10^{-5}$  mbar, se aplicó una fuerza de unión. Las protuberancias se presionaron en los orificios y se taponaron herméticamente.

40 La figura 4 muestra una imagen SEM en sección transversal con un puerto de acceso taponado. La sección transversal se realizó por rectificado y pulido. El oro ha sido presionado 90 micras en el puerto de acceso.

45 La diferencia entre la presión de la cavidad y la presión ambiental provoca una flexión de la membrana de silicio. Una observación a largo plazo de la curvatura de flexión se utiliza para investigar la hermeticidad.

50 El taponado en vacío se realiza en dos etapas. En primer lugar, las protuberancias de oro se unieron mediante alambre descentrado en orificios de acceso de 30 µm de diámetro a cavidades que, de otro modo, estarían cerradas utilizando una unión de alambre. Las protuberancias se optimizaron para una forma de protuberancia alta y estrecha y se unieron a una velocidad de 14 protuberancias/s. La oblea con cavidades se transfirió luego a un elemento de unión de obleas donde las protuberancias se comprimieron al vacío con una fuerza de 3,5 kN, aproximadamente 9 N/protuberancia. Esta deformación plástica de las protuberancias hizo que las cavidades se taponaran herméticamente. Una sección transversal de un puerto de acceso taponado se muestra en la figura 4. La compresión provocó que el oro de la protuberancia llenara el puerto de acceso a una profundidad de 90 µm.

55 Las membranas de las cavidades tapadas por vacío se desviaron cuando se exponen a presión atmosférica. La desviación se midió con interferometría de luz blanca y correspondió a una presión de la cavidad de menos de 10 mbar en comparación con las simulaciones FEM de un modelo de membrana fabricado usando Comsol.

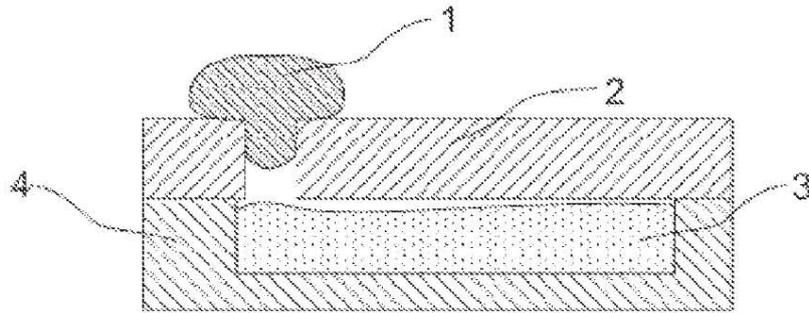
## ES 2 680 906 T3

- 5 La deflexión de la membrana se midió en aire durante 5 días para evaluar la tasa de fuga. En la figura 2 los resultados del cambio de deflexión para 4 cavidades se comparan con una membrana simulada utilizando las variaciones de presión atmosférica medidas en una estación meteorológica cercana. Tres de las cuatro cavidades parecen estar tapadas. El cuarto dispositivo tiene una fuga fina de  $6 \cdot 10^{-8}$  mbarL/s, si se supone una relación lineal entre la deformación y la presión. Las variaciones de deflexión de las 3 cavidades tapadas se ajustan bien a las variaciones de presión atmosférica. La tasa de fuga en las cavidades tapadas está por debajo del límite de detección, que para este método es de  $6 \cdot 10^{-12}$  mbarL/s por puerto taponado.
- 10 En este ejemplo se describe un proceso de taponado por vacío usando deformación de "protuberancias" unidas con alambre en los puertos de acceso de las cavidades preformadas. No se detectó ninguna fuga con el método de evaluación, lo que demuestra que la tasa de fuga es inferior a  $6 \cdot 10^{-12}$  mbarL/s. Este método permite el taponado al vacío sin complicaciones y rentable utilizando herramientas comerciales maduras.

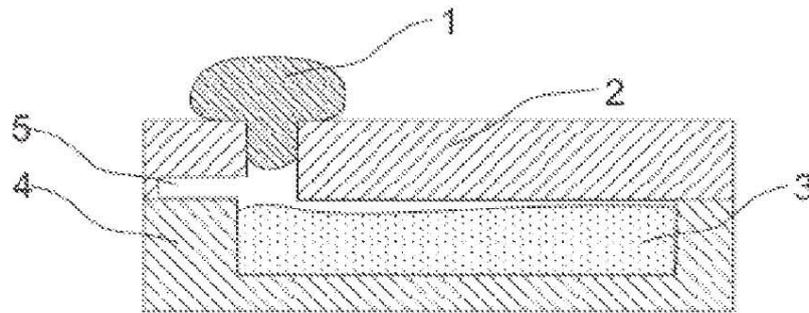
**REIVINDICACIONES**

1. Un método para el sellado de un orificio, comprendiendo dicho método las etapas de
- 5 a) proporcionar al menos un sustrato (2) con al menos un orificio en el que dicho al menos un orificio tiene una dimensión mayor de 1  $\mu\text{m}$  a 300  $\mu\text{m}$ ,  
b) proporcionar una pieza de material (1), en el que dicha pieza de material (1) tiene una dimensión mayor que dicho al menos un orificio,  
c) presionar dicha pieza de material (1) contra el sustrato centrado en un punto adyacente al orificio, con una  
10 primera herramienta,  
d) retirar la herramienta de la pieza de material (1), y  
e) presionar adicionalmente dicha pieza de material al menos parcialmente en el orificio con una herramienta plana que opera en una cámara de presión controlable,
- 15 en el que dicho al menos un orificio es la abertura de una cavidad, y dicha cavidad está sellada a una atmósfera diferente de 101325 Pa de presión absoluta.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha primera herramienta se retira de dicha pieza de material con un movimiento paralelo a la superficie del sustrato.
- 20 3. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que dicho al menos un orificio es la abertura de una cavidad (12).
4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que dicha cavidad se llena con un fluido (3) antes de formar dicho tapón.
- 25 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 4, en el que dicha cavidad está bajo vacío después de formar dicho tapón.
- 30 6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el sustrato (2) antes de formar dicho tapón está recubierto al menos parcialmente con al menos un metal en la región de dicho al menos un orificio.
7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho material se somete a al menos uno seleccionado de calor y ultrasonidos durante la presión de dicha pieza de material (1) contra el orificio.
- 35 8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que dicho material es un metal.
9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicho material se selecciona del grupo que consiste en Au, Al, Cu y Ni.
- 40 10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que dicho tapón es un electrodo.

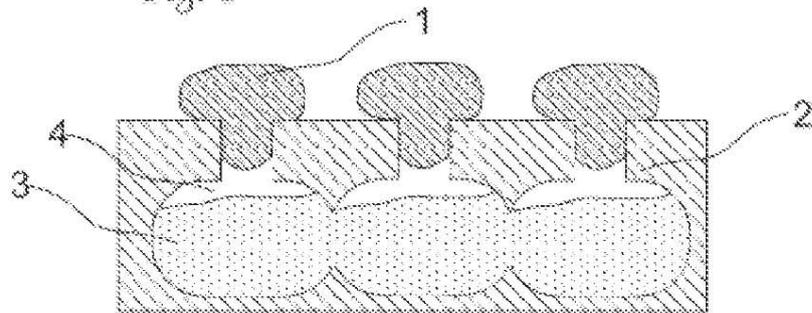
Figura 1



*Fig. a*



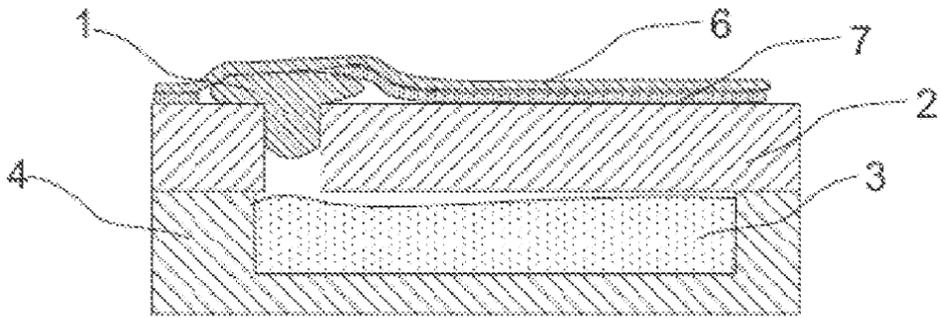
*Fig. b*



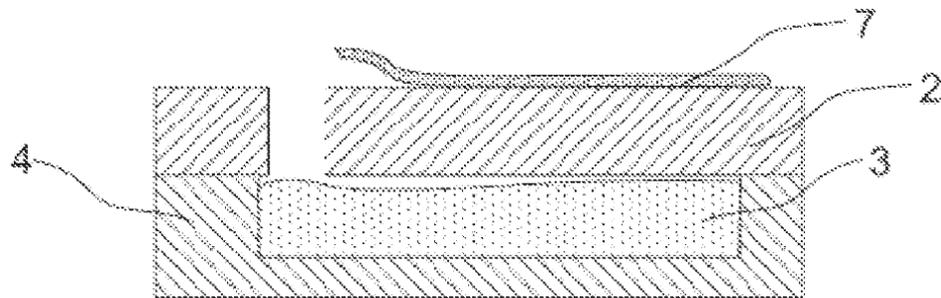
*Fig. c*



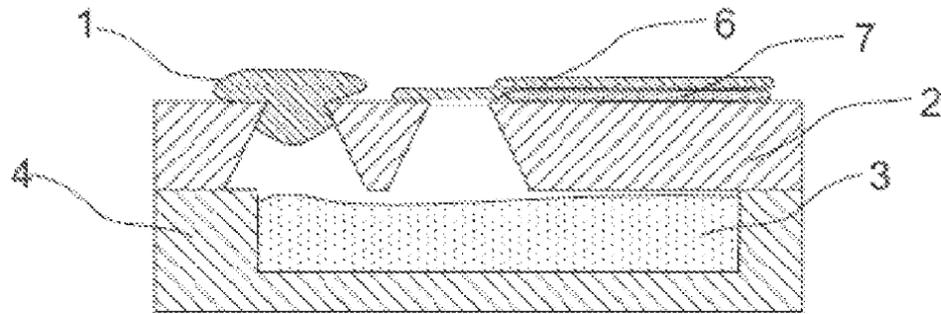
*Fig. d*



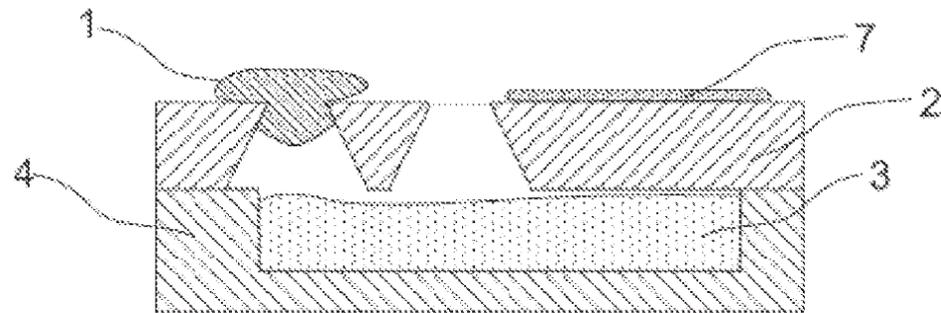
*Fig. e*



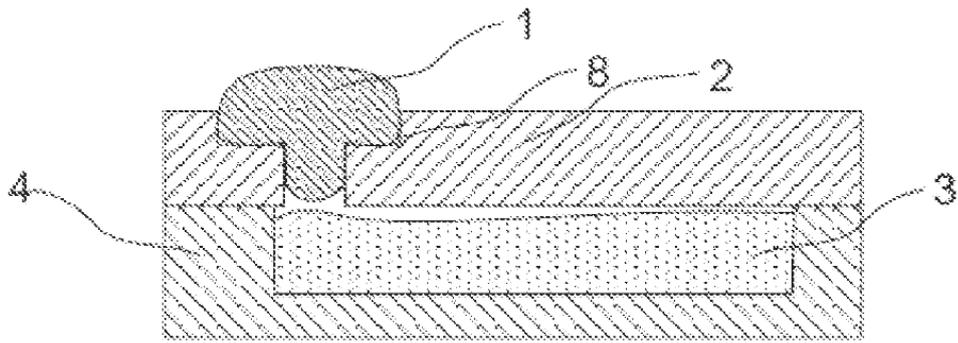
*Fig. f*



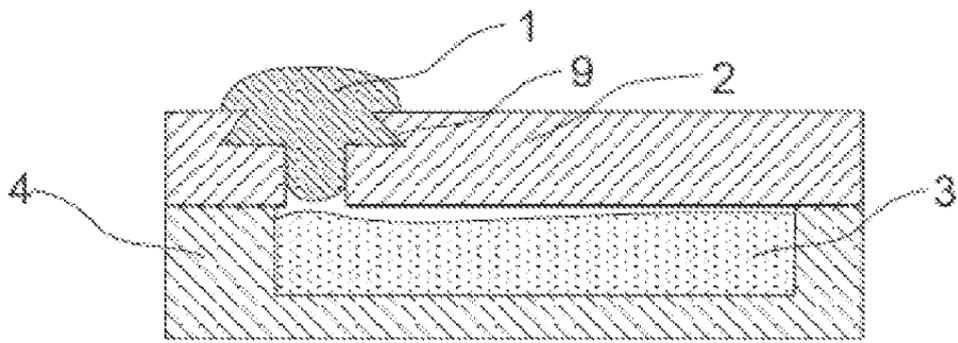
*Fig. g*



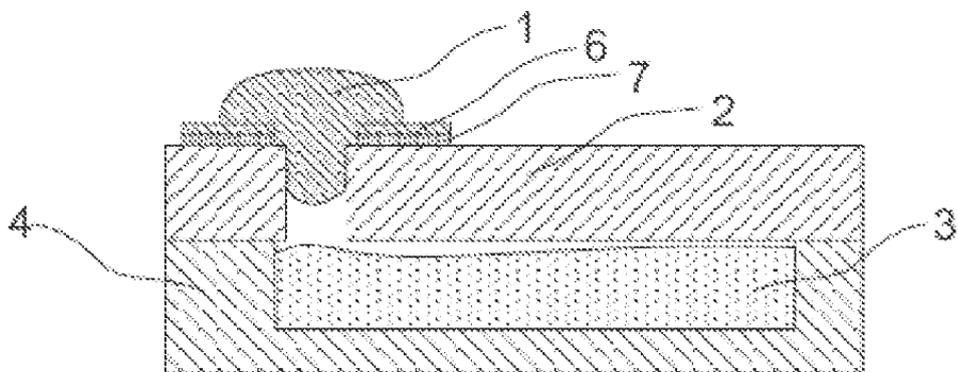
*Fig. h*



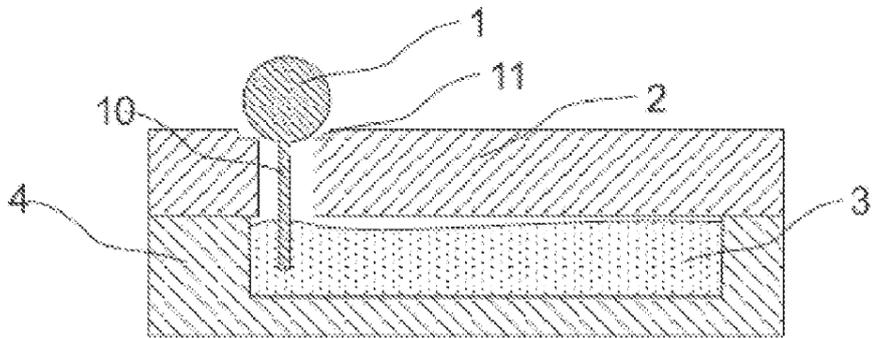
*Fig. i*



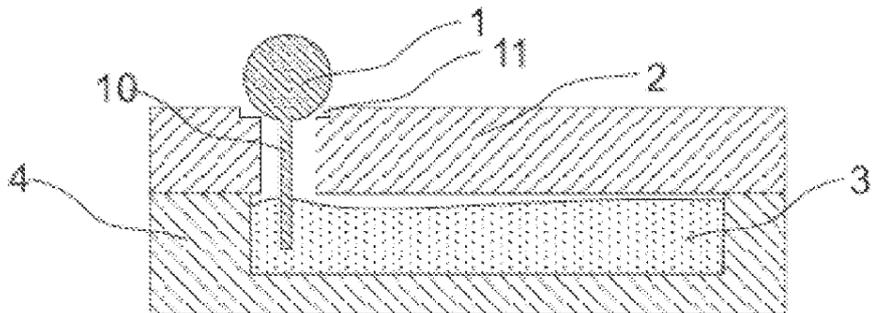
*Fig. j*



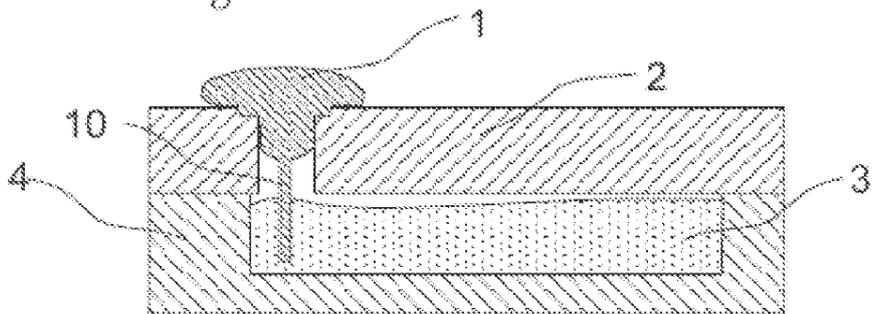
*Fig. k*



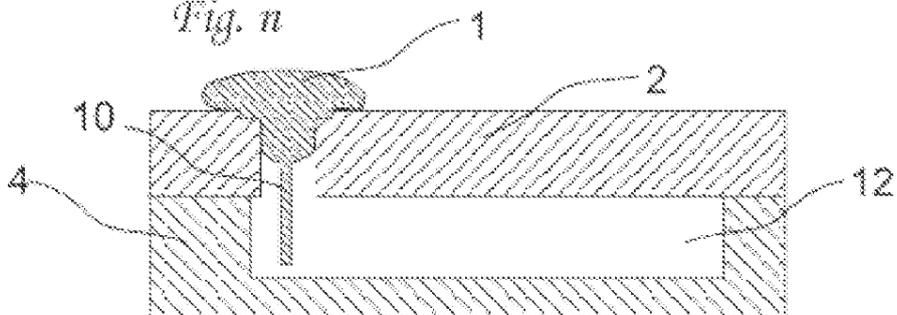
*Fig. l*



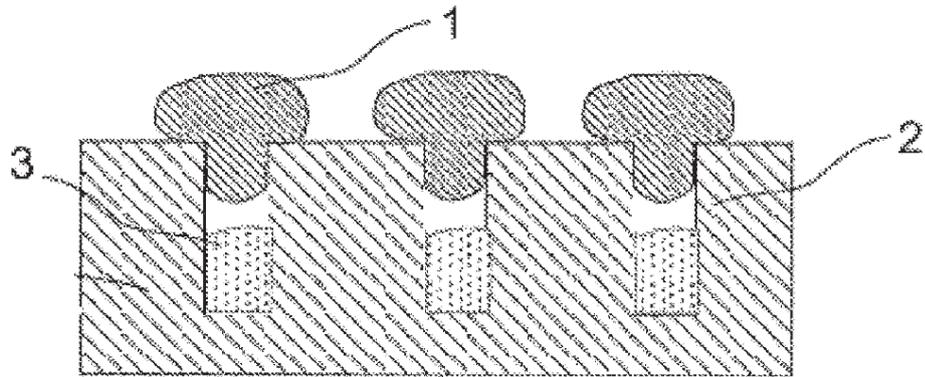
*Fig. m*



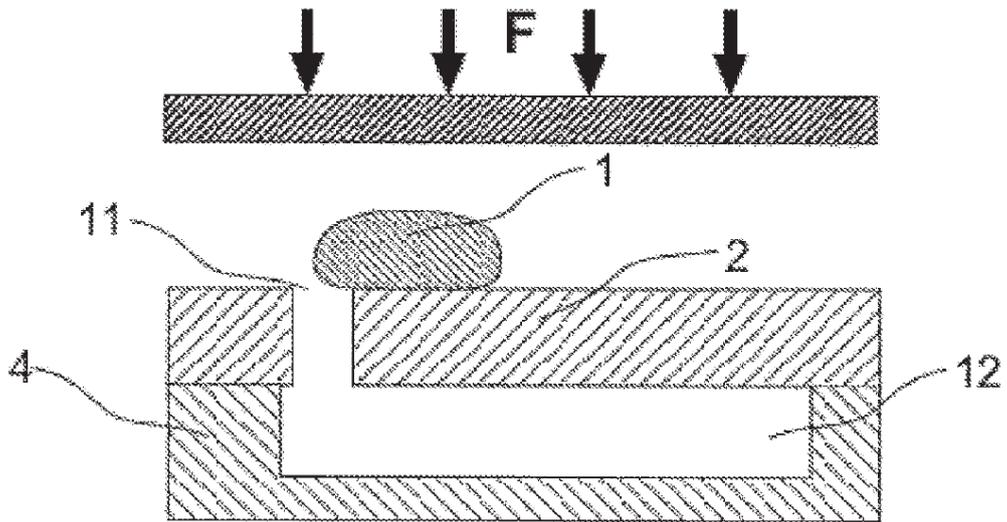
*Fig. n*



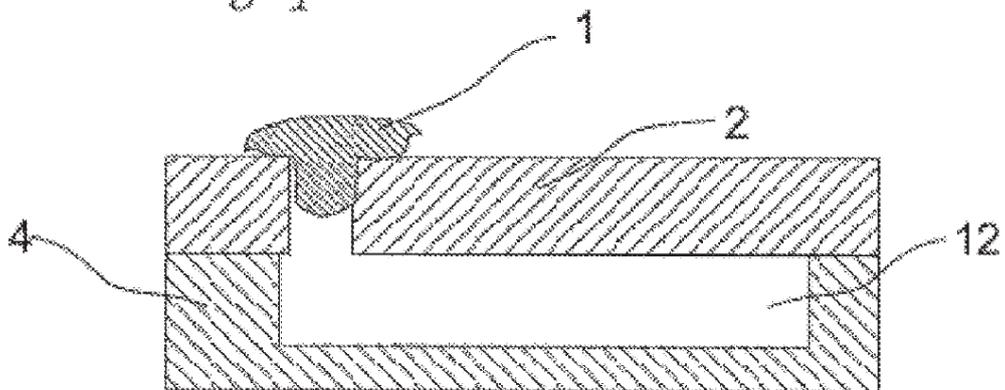
*Fig. o*



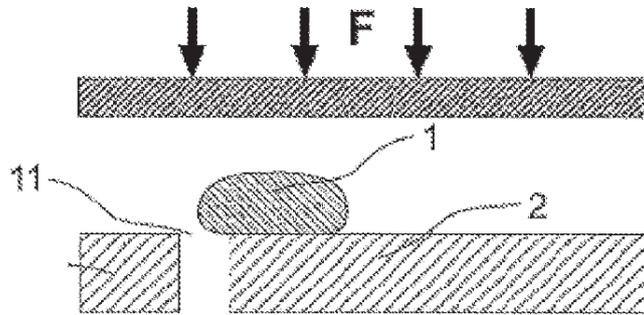
*Fig. p*



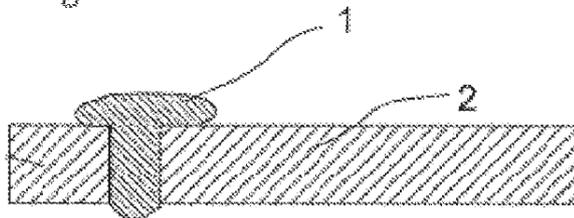
*Fig. q*



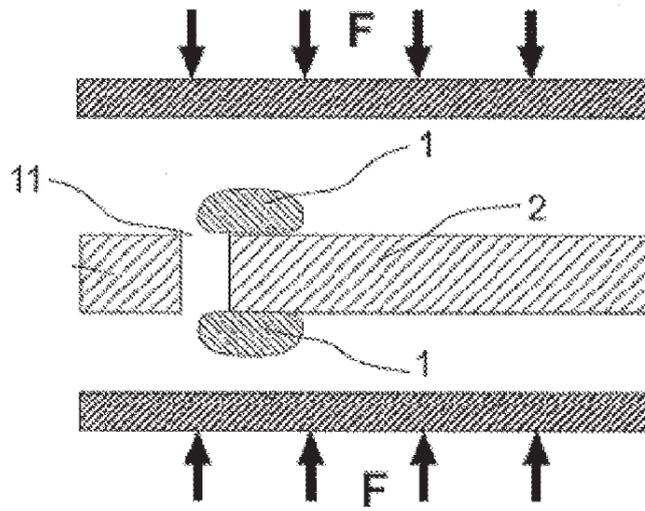
*Fig. r*



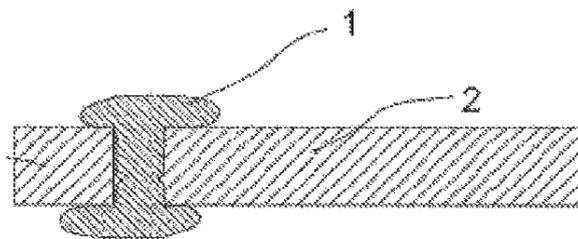
*Fig. s*



*Fig. t*



*Fig. u*



*Fig. v*

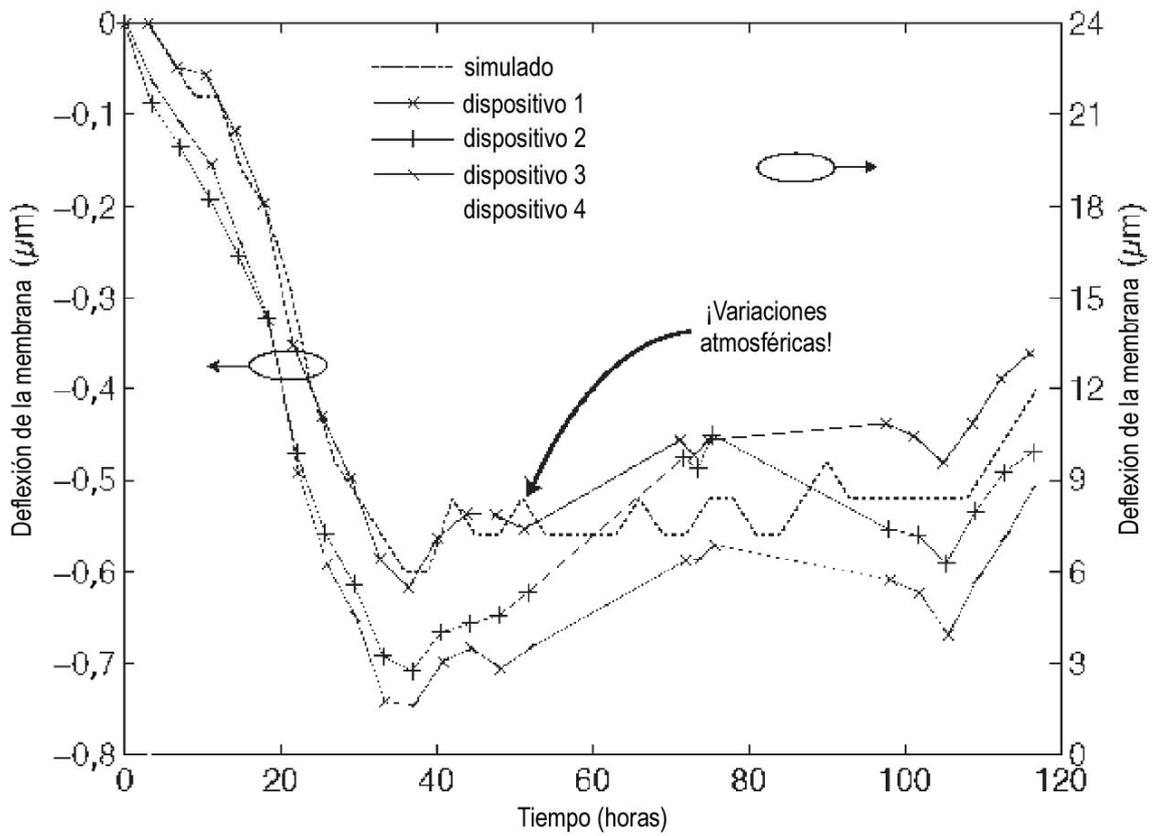


Figura 2

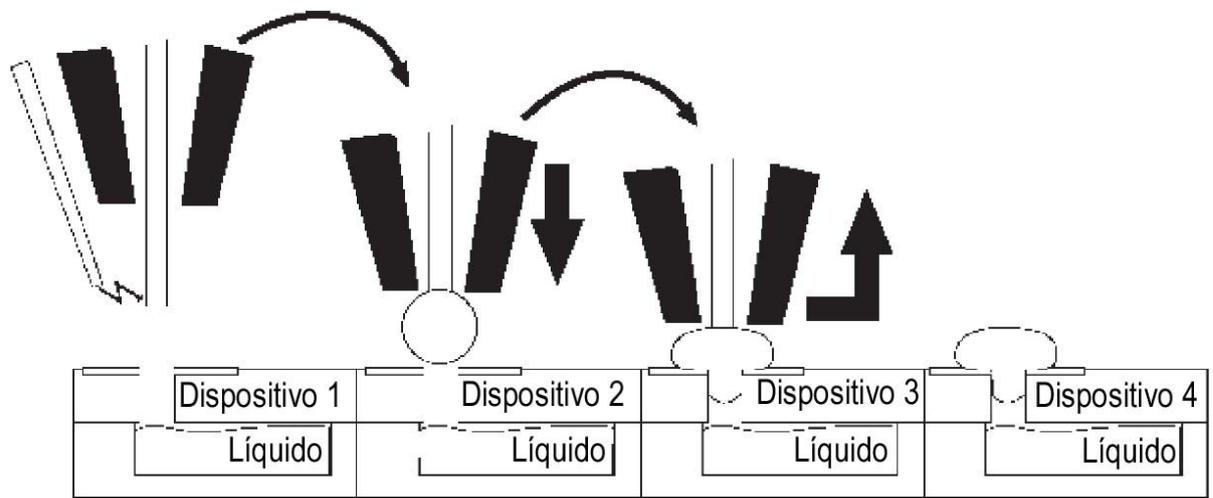


Figura 3

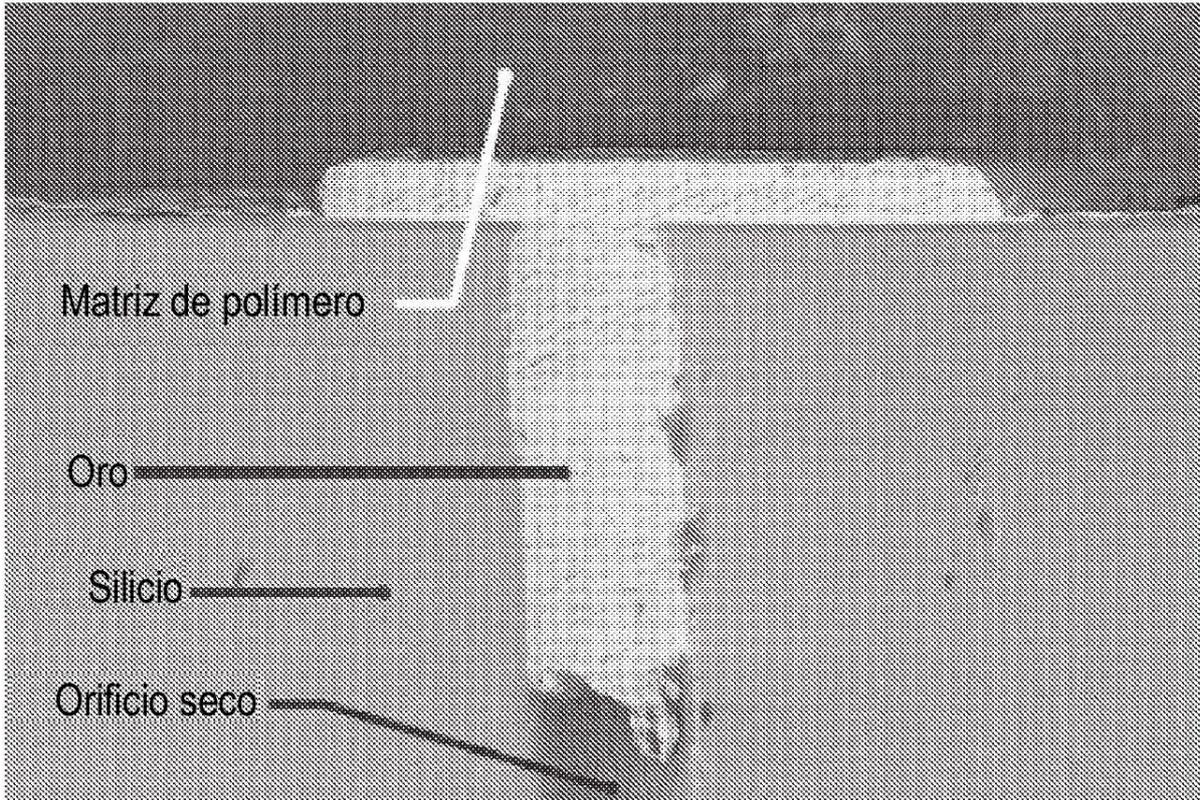


Figura 4

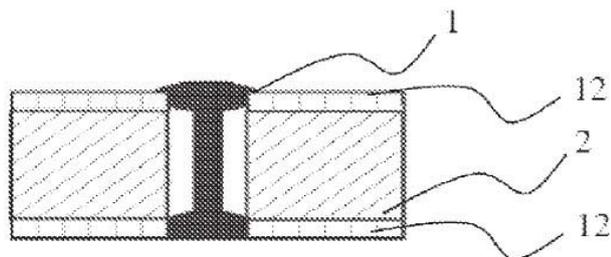
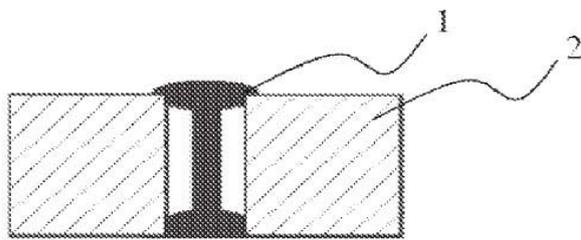
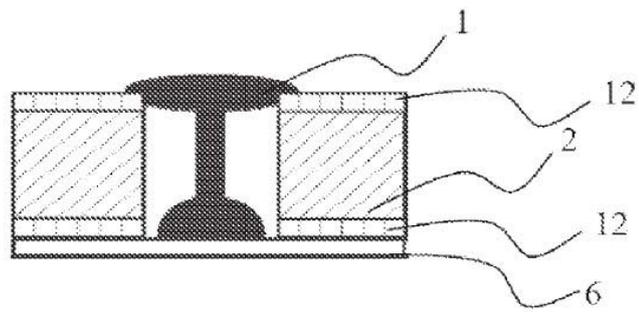
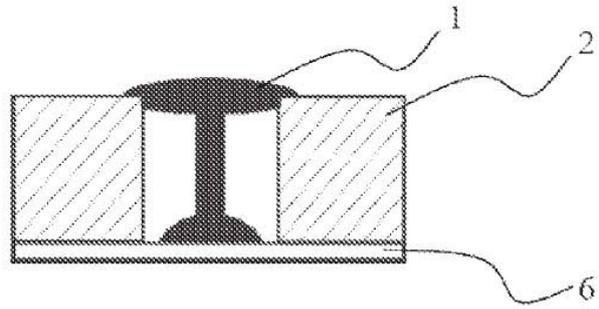


Figura 5 a, b, d, y d (superior a inferior)

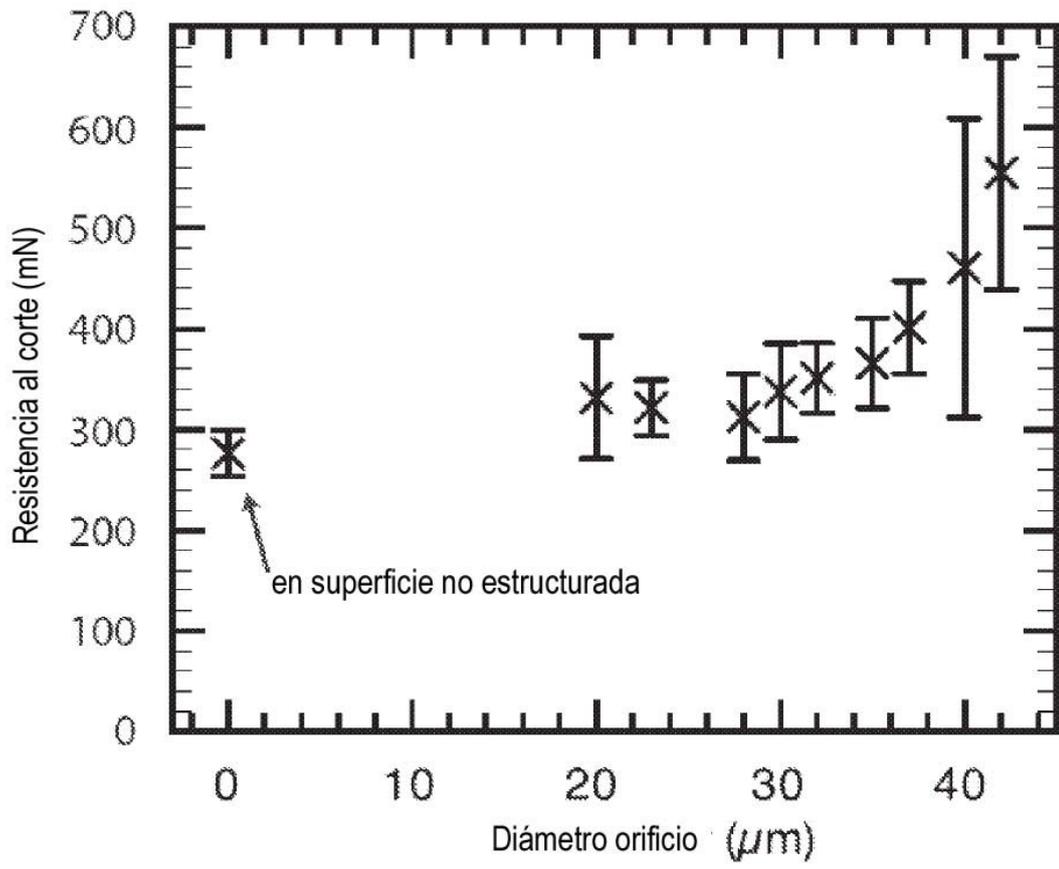


Figura 6

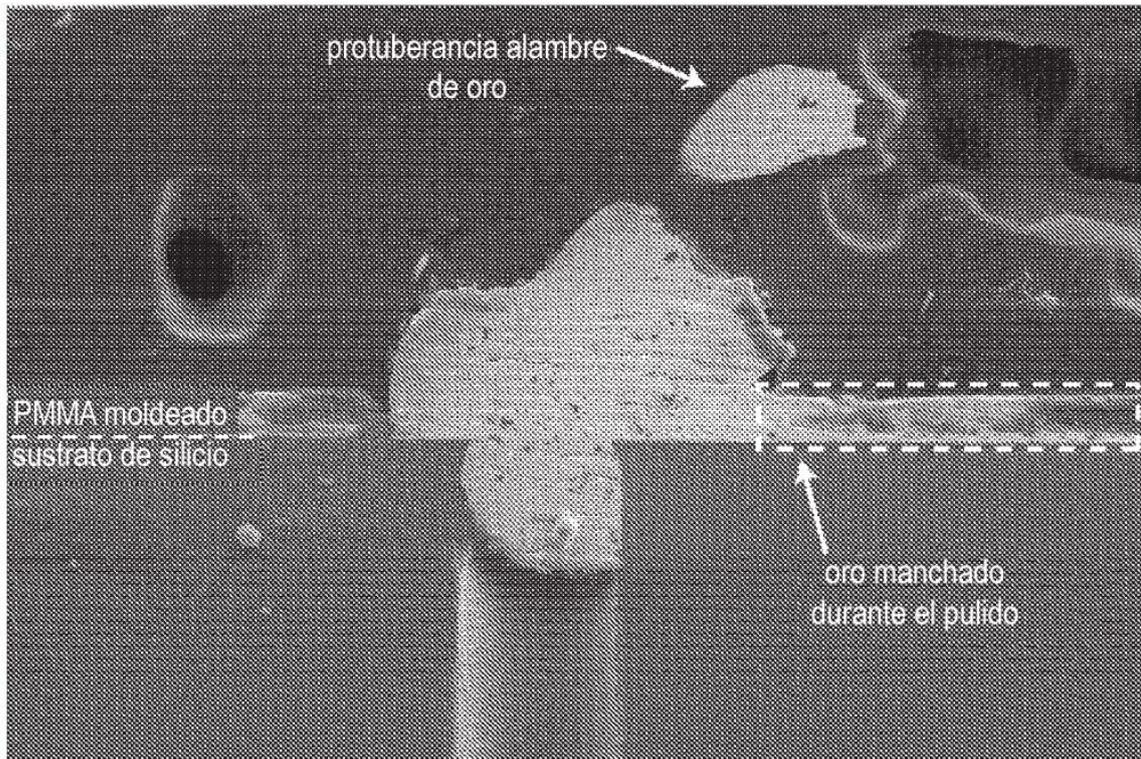


Figura 7