

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 446 915**

51 Int. Cl.:

G01H 11/06 (2006.01)

B06B 1/02 (2006.01)

B06B 1/06 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

G01H 11/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2003 E 03785020 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2013 EP 1552721**

54 Título: **Transductores ultrasónicos micromecanizados y procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:

08.08.2002 US 402220 P

07.08.2003 US 638057

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

10.03.2014

73 Titular/es:

**THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND
STANFORD JUNIOR UNIVERSITY (100.0%)
1705 EL CAMINO REAL
PALO ALTO, CA 94306-1106, US**

72 Inventor/es:

**KHURI-YAKUB, BUTRUS T.;
HUANG, YONGLI y
ERGUN, ARIF S.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 446 915 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

Transductores ultrasónicos micromecanizados y procedimiento de fabricación

Breve descripción de la invención

5 La presente invención versa, en general, acerca de transductores ultrasónicos micromecanizados (MUT) y, más en particular, acerca de un procedimiento de fabricación de transductores ultrasónicos micromecanizados utilizando tecnología de unión de obleas y acerca de los MUT resultantes.

Antecedentes de la invención

10 Los transductores ultrasónicos han sido utilizados en un número de aplicaciones de detección, tales como en una evaluación no destructiva de formación de imágenes médicas, de medición del gas y un número de aplicaciones de generación de ultrasonidos, tales como terapia médica, limpieza industrial, etc. Una clase de tales transductores es el transductor electrostático. Los transductores electrostáticos han sido utilizados durante mucho tiempo para recibir y generar ondas acústicas. Se han utilizado conjuntos de transductores electrostáticos de gran área para una formación de imágenes acústicas. El transductor electrostático emplea membranas resilientes con una inercia muy pequeña que forman una placa de un soporte de transductores electrostáticos por encima de una segunda placa. Cuando las distancias son pequeñas, los transductores pueden ejercer fuerzas muy grandes. El momentum llevado a aproximadamente la mitad de una longitud de onda de las moléculas de aire puede poner a la membrana en movimiento y viceversa. El accionamiento y la detección electrostáticos permiten la realización y el control de tales membranas. De forma alternativa, se pueden accionar las membranas utilizando transductores piezoeléctricos y magnéticos.

20 Los transductores ultrasónicos capacitivos microfabricados (cMUT) de banda ancha pueden incluir múltiples elementos que incluyen membranas de tamaño y forma idénticos o distintos soportadas sobre un sustrato de silicio por paredes de un material aislante que junto con la membrana y el sustrato definen células. Las paredes están formadas al micromecanizar una capa de material aislante tal como óxido de silicio, nitruro de silicio, etc. El sustrato puede ser vidrio u otro material de sustrato. El transductor capacitivo está formado por una capa conductora o la membrana y el medio conductor, tal como una capa bien aplicada al sustrato o bien el sustrato que tenga regiones conductoras. En otros tipos de transductores ultrasónicos de banda ancha en los que se accionan las membranas mediante transductores piezoeléctricos (pMUT) las paredes de la célula no necesitan estar fabricadas de material aislante.

30 La fabricación de transductores ultrasónicos capacitivos micromecanizados ha sido descrita en muchas publicaciones y patentes. Por ejemplo, las patentes U.S. n^{os} 5.619.476; 5.870.351 y 5.894.452, describen la fabricación de transductores ultrasónicos de tipo capacitivo o electrostático en los que las membranas están soportadas sobre un sustrato tal como silicio por soportes aislantes tales como nitruro de silicio, óxido de silicio o poliamida. Los soportes se acoplan a los bordes de cada membrana para formar una o más células. Una tensión aplicada entre el sustrato y la película conductora sobre la superficie de las membranas provoca que las membranas vibren y emitan sonido o, de forma alternativa, las ondas sonoras recibidas provocan que las membranas vibren y proporcionen un cambio en la capacitancia. Las membranas puede ser selladas para proporcionar la operación de los transductores sumergidos en líquidos. En general, los transductores incluyen una pluralidad de células de tamaños y/o formas idénticos o distintos. En algunas aplicaciones, los elementos transductores de múltiples células están dispuestos en conjuntos con la excitación eléctrica de los elementos controlados para proporcionar patrones deseados de haces. Se puede emplear la misma tecnología para fabricar pMUT y mMUT.

35 En general, las membranas en los cMUT de la técnica anterior son crecidas o depositadas sobre una película aislante y la película aislante es atacada químicamente de forma selectiva a través de aberturas en la membrana para proporcionar cavidades subyacentes. Se ponen en peligro las propiedades de membrana que dependen de los parámetros procedimentales y la predictibilidad, la reproducibilidad y la uniformidad de las membranas. Además, la formación de membranas con cavidades subyacentes requiere etapas complejas de procesamiento. Además, es difícil generar estructuras complejas de cavidades de membrana que utilizan tecnología convencional de fabricación de MUT de la técnica anterior.

El documento US-A-6004 832 da a conocer un procedimiento de fabricación de un transductor ultrasónico microfabricado según la porción de delimitación previa de la Reivindicación 1.

50 El documento WO 00/02028 A1 da a conocer una unión por fusión de una estructura de soporte y de una oblea en la fabricación de componentes de silicio.

Según la invención se proporciona un procedimiento de fabricación de un transductor ultrasónico microfabricado como se reivindica en la Reivindicación 1.

La invención proporciona, además, un transductor ultrasónico como se reivindica en la Reivindicación 7.

55

Breve descripción de los dibujos

Se comprenderán más claramente lo anterior y otros objetos de la invención a partir de la siguiente descripción cuando sea leída junto con los dibujos adjuntos en los que:

- 5 las Figuras 1.1 a 1.9 ilustran las etapas de formación de un cMUT según una realización de la presente invención;
la Figura 2 es una vista en corte transversal que ilustra una realización alternativa de la oblea procesada de la Figura 1.3;
las Figuras 3.1 a 3.7 ilustran las etapas de formación de un cMUT según otra realización de la presente invención;
- 10 las Figuras 4.1 a 4.3 ilustran las etapas de formación de un cMUT según una realización adicional más de la presente invención;
las Figuras 5.1 a 5.6 ilustra las etapas de formación de un cMUT que incluye una membrana que tiene porciones de distintos grosores según otra realización más de la presente invención;
la Figura 6 ilustra un cMUT según una realización adicional de la invención;
- 15 la Figura 7 ilustra un cMUT según otra realización de la presente invención;
la Figura 8 ilustra las frecuencias resonantes primera y segunda en el aire como una función de la masa adicional sobre la membrana de la Figura 7;
la Figura 9 ilustra la relación de las frecuencias primera y segunda de resonancia de la Figura 8;
la Figura 10 ilustra un cMUT según otra realización más de la presente invención;
- 20 la Figura 11 ilustra un pMUT fabricado según otra realización de la presente invención;
las Figuras 12 y 13 ilustra mMUT fabricados según otra realización de la presente invención;
la Figura 14 ilustra de forma esquemática la formación de una capa delgada que sirve de membrana para una unión por fusión según la presente invención; y
las Figura 15.1 – 15.4 ilustra las etapas de formación de otra membrana para una unión por fusión según la
- 25 presente invención.

Descripción de una o más realizaciones preferentes

Se describe en primer lugar la fabricación de cMUT que tienen membranas de silicio formadas mediante unión por fusión de obleas de silicio en óxido a la pared de la célula de óxido de silicio seguido de una descripción de uso de la misma tecnología para formar pMUT y mMUT. Esto es seguido de una descripción del uso del mismo procedimiento de unión por fusión para fabricar otros tipos de membranas que tienen características seleccionadas.

30

Con referencia a las Figuras 1.9 y 3.6, los cMUT según la presente invención incluyen células en una oblea 11 de soporte con una pluralidad de células 12 que tienen paredes 13 de óxido y membranas 14 de silicio formadas mediante unión por fusión del silicio de una oblea de silicio en óxido a las paredes de óxido. Los electrodos conductores comprenden la oblea 11 y las capas 16 de conducción (Figura 1.9). En la Figura 3.7, en la que las partes similares están representadas por los mismos números de referencia, los electrodos comprenden la región implantada 17 y las capas conductoras 16.

35

Las etapas de formación de cMUT según la Figura 1.9 emplean unión por fusión de obleas al vacío se ilustran y se describen con referencia a las Figuras 1.1 a 1.9. El procedimiento comienza con dos obleas. La primera oblea 11 es una oblea de silicio de alta calidad que es denominada oblea portadora (Figura 1.1). Esta oblea constituirá el electrodo inferior de los cMUT. Puede ser una oblea de baja resistividad que la convierta en una placa posterior conductora o puede ser una oblea de alta resistividad y dopada de forma selectiva para definir un electrodo posterior modelado. La segunda oblea es una oblea de silicio en aislante (SOI) como se ilustra en la Figura 1.5. El grosor de silicio de la oblea de SOI determinará el grosor de la membrana. La oblea de SOI incluye una oblea 21 de soporte de silicio, una capa 22 de óxido y la capa 14 de silicio que forma las membranas del cMUT. Se escoge la oblea de SOI para satisfacer los requerimientos de diseño del grosor y de las características de la membrana.

40

45

Las primeras etapas han de definir el tamaño y la forma de las cavidades. En primer lugar la oblea portadora está oxidada térmicamente para formar las capas 24 y 26 de óxido (Figura 1.2). El grosor del óxido térmico determina la altura de las cavidades del cMUT. Se elige satisfacer los requerimientos de diseño. Una etapa de fotolitografía forma una máscara adecuada con aberturas que definen la forma de las cavidades. Esto es seguido por una etapa de ataque químico, tal como un ataque con plasma para definir la cavidad. Es evidente que las cavidades pueden tener tamaño y forma virtuales cualesquiera (Figura 1.3). El ataque seco de la capa de dióxido de silicio se detiene en la oblea de silicio, de forma que se determine la profundidad de la cavidad mediante el valor térmico inicial del óxido. Si se desea tener cavidades más profundas, se puede utilizar un decapado adicional del silicio (seco o húmedo) para definir una cavidad más profunda si se necesita, como se ilustra en la Figura 2. Para establecer un aislamiento eléctrico entre el electrodo inferior y el electrodo superior (el silicio de SOI) se crece térmicamente una capa delgada de óxido 27 sobre la oblea portadora como se muestra en la Figura 1.4. Esto evita posibles cortocircuitos y fallos del dispositivo si se hunde la membrana hasta un punto en el que haga contacto con la parte inferior de la cavidad.

50

55

La siguiente etapa es formar la membrana del cMUT. Se coloca la oblea de SOI sobre la oblea portadora con la capa delgada 14 de silicio orientada hacia la oblea portadora, Figura 1.6. Entonces, se unen las dos obleas mediante

unión por fusión de obleas al vacío. Si se lleva a cabo la unión con presión muy baja, las cavidades o células formadas son selladas al vacío. Después de esta etapa, se elimina la porción gruesa 21 de silicio de la oblea de soporte de SOI en la cara trasera y la capa 22 de óxido, Figura 1.7. Esto puede llevarse a cabo mediante un procedimiento de abrasión y de ataque químico por lo que solo queda la capa delgada de silicio que forma la membrana sobre las cavidades, Figura 1.7. También se elimina la capa 26 de óxido sobre la oblea portadora. La siguiente etapa es formar los electrodos superiores. Sin embargo, antes de la formación de los electrodos se puede llevar a cabo otra secuencia de fotolitografía y de ataque seco. Con esta etapa se eliminan las capas superiores de silicio y de óxido en torno a la periferia del dispositivo, como se muestra en la Figura 1.8. Existen dos razones para esto, una es aislar eléctricamente elementos individuales de los elementos colindantes en un conjunto. La otra razón es crear un contacto eléctrico con la oblea portadora que forma el electrodo inferior del cMUT. Entonces, se deposita una capa delgada de metal 16 sobre la membrana para formar el electrodo superior, Figura 1.9. El electrodo superior puede ser modelado mediante secuencias de fotolitografía y de decapado para reducir la capacitancia parásita. De esta forma se forman cMUT que tienen células o cavidades vaciadas con una única membrana de silicio cristalino cuyo grosor y características pueden ser controlados al controlar la fabricación de la oblea de SOI.

Utilizando técnicas de unión por fusión de obleas y obleas de SOI, se pueden fabricar cMUT con interconexiones eléctricas a través de la oblea. En la presente realización se procesa la oblea portadora para proporcionar interconexiones a través de la oblea. En la Figura 3.4 se ilustra una oblea con una interconexión a través de la oblea. La oblea es preprocesada con la tecnología de interconexión eléctrica a través de la oblea, de forma que las conexiones eléctricas, tanto de señales como de tierra, de las almohadillas del lado frontal tienen conexiones en el lado trasero de la oblea portadora. Brevemente, la oblea de interconexión incluye un cuerpo de silicio 31 de alto resistividad en el que se han implantado regiones de tipo N y de tipo P que forman una unión pn 32, se crece una capa 33 de óxido térmico para un aislamiento. La oblea con interconexiones a través de la oblea podría ser procesada de la misma forma que la oblea de la Figura 1.1 para definir las cavidades que tienen paredes de óxido de silicio sobre las que se une por fusión la oblea de SOI. Sin embargo, se puede poner en práctica un procedimiento completamente distinto para formar el dispositivo mostrado en la Figura 3.6. La oblea de SOI de la Figura 3.1 que incluye un soporte posterior 21, una capa 22 de óxido y una capa de silicio es oxidada térmicamente, Figura 3.2, con la capa resultante 34 de óxido de silicio con un grosor que determina la profundidad de la cavidad. Se escogen las condiciones iniciales de la oblea de SOI y de oxidación térmica para satisfacer los requerimientos de diseño para el grosor y las características de la membrana y la profundidad de la cavidad. Una secuencia de fotolitografía y de ataque seco sigue a la etapa de oxidación térmica para definir la forma y el tamaño de las cavidades que son equivalentes a la forma y el tamaño de la membrana, Figura 3.7. La formación de la membrana es muy similar a la descrita anteriormente. La oblea de SOI y la oblea portadora están unidas por fusión, Figura 3.4, utilizando técnicas de unión por fusión a baja presión, lo que tiene como resultado cavidades selladas al vacío. La parte trasera de la oblea de SOI es sometida a abrasión y decapada para eliminar las capas 21, 22 de silicio y de dióxido de silicio dejando una capa delgada de silicio que forma la membrana del transductor ultrasónico capacitivo micromecanizado. Esto es seguido por una etapa de metalización que es ligeramente distinta de una descrita anteriormente. En este caso el electrodo superior sirve de tierra y, por lo tanto, está conectado al sustrato de silicio de la oblea portadora, como se muestra en 34 en la Figura 3.7. En el caso de conjuntos bidimensionales de cMUT, para los cuales son sumamente relevantes la interconexión eléctrica a través de la oblea, el electrodo superior es el electrodo de conexión a tierra y conecta todos los elementos del conjunto. Por otra parte, se devuelve el electrodo de señal de cada elemento individualmente al lado trasero de la oblea portadora a través de las interconexiones eléctricas a través de la oblea. Es evidente a partir de los anteriores dos procedimientos que se determinan el tamaño y la configuración mediante etapas fotolitográficas, la profundidad de las cavidades mediante el grosor del óxido y el ataque químico, y las características de la membrana mediante la capa delgada de silicio de la oblea de SOI. En todos los casos las cavidades están selladas al vacío y el cMUT es operable en aplicaciones tanto al aire como sumergidas.

La tecnología de unión de obleas para fabricar cMUT permite el diseño de cavidades complejas. De esta forma es posible solucionar algunos de los problemas asociados con los cMUT. Lo que sigue es una variación de la tecnología de unión de obleas para crear una estructura compleja de cavidades con postes no unidos que pueden ser utilizados en diversas aplicaciones. Por ejemplo, se puede utilizar para solucionar el gran problema de la deflexión y de la rigidez debidas a grandes cargas iniciales de presión para aplicaciones de cMUT en el intervalo de frecuencias bajas. Con referencia a la Figura 4.1, los materiales de partida son los mismos que se utilizan en conexión con la realización de las Figuras 1.1 a 1.9. La primera parte de la definición de las cavidades es idéntica a la descrita con respecto a la Figura 1.3 (Figura 4.1). Se utiliza otra etapa de fotolitografía y de decapado del silicio en seco para definir una segunda estructura de cavidad en el interior de la primera cavidad, como se muestra en la Figura 4.2. Sigue una etapa breve de oxidación térmica para crear una capa delgada de óxido 42 sobre el silicio para establecer un aislamiento eléctrico entre los electrodos inferiores y superiores. La definición de la formación de la membrana y de los electrodos es idéntica a la descrita con respecto a las Figuras 1.5 a 1.9 y tiene como resultado el dispositivo de la Figura 4.3 que muestra postes 43 de soporte de óxido y un poste 44 no unido.

Como es evidente a partir de lo anterior, en transductores cMUT las membranas están soportadas por sus bordes. Es decir, los bordes de las membranas están fijadas y, por lo tanto, no se mueven. Al ir hacia el centro de la membrana, se aumenta el movimiento en respuesta a tensiones de accionamiento. En otras palabras, los bordes de la membrana no contribuyen a la presión radiada tanto como el centro, lo que realmente significa una pérdida de

eficacia. Utilizando la flexibilidad de la tecnología de unión de obleas, los cMUT pueden estar diseñados como movimientos similares a los de un pistón, lo que tiene como resultado una mayor eficacia. Esto se consigue al colocar una masa adicional en el centro de la membrana. Además, en un cMUT normal el grosor de la membrana es uniforme a través de la membrana, lo que determina tanto la constante de resorte como la masa. Existen dos parámetros críticos que determinan la respuesta mecánica del cMUT. Utilizando tecnología de unión de obleas para fabricar cMUT, se puede colocar masa adicional en el centro de la membrana y ajustar la constante de resorte y la masa de la membrana de forma independiente. Para una frecuencia fija de diseño, se puede seleccionar una masa eficaz diferente, y para una selección de constantes de resorte de la ubicación de la parte del pistón, se puede manipular la respuesta armónica del cMUT. El flujo del procedimiento ilustrado en las Figuras 5.1 a 5.7 ilustra procedimientos de fabricación de cMUT con membranas similares a pistones.

En la fabricación de un dispositivo se comienza con dos obleas de SOI y obleas de silicio de alta calidad. La primera etapa es para definir la masa adicional. Para este fin la primera oblea de SOI está modelado con una secuencia fotolitográfica y de ataque seco que define áreas de masa adicional que se adherirán a la membrana, Figura 5.1. En esta etapa la capa delgada de silicio de la oblea de SOI es atacada químicamente de forma seleccionada para dejar regiones o islas de forma, tamaño y grosor predeterminados para satisfacer los requerimientos de diseño para que se introduzca la masa añadida en la membrana. Entonces, se une por fusión esta oblea a la segunda oblea de SOI como se ilustra en la Figura 5.2. La porción de soporte, un óxido de la primera oblea de SOI, es sometida a abrasión y decapada, dejando una oblea de SOI con una masa adicional de silicio 51 en la capa 52 de silicio de la segunda oblea de SOI.

La oblea portadora 11 de silicio de alta calidad es oxidado térmicamente para definir la profundidad de las cavidades y la forma y el tamaño de las cavidades son definidos fotolitográficamente y una secuencia de ataque seco elimina el óxido expuesto. La profundidad de las cavidades debe ser mayor que el grosor de la masa adicional en la capa delgada de silicio de la oblea de SOI. Dependiendo del diseño, la oxidación térmica puede no ser suficiente para definir la profundidad de las cavidades, y puede ser requerido un decapado adicional del silicio, como se ilustra en la Figura 2. Entonces, la oblea portadora es oxidada térmicamente 57 de nuevo para crecer la capa delgada de dióxido de silicio para fines de aislamiento eléctrico, Figura 5.4. La oblea portadora y la oblea de SOI con la masa adicional de silicio en la capa delgada de silicio son unidas por fusión al vacío como se ilustra en la Figura 5.5. Las masas adicionales en la oblea de SOI están alineadas con las cavidades en la oblea portadora. Se elimina la porción de sujeción o la porción de soporte de la oblea de SOI junto con el dióxido de silicio mediante abrasión y ataque químico, dejando la membrana de silicio con masas adicionales de silicio y cavidades selladas al vacío, tal como se muestra en la Figura 5.6 que también muestra la aplicación de electrodos al seguir las etapas de aislamiento y de definición de electrodos descritas con respecto a las Figuras 1.8 y 1.9. El cMUT incluye una membrana 14 con masa adicional 51, cavidades 12, y electrodos 16. De forma alternativa, se puede formar el óxido sobre el silicio de la oblea de SOI como en el procedimiento de la Figura 3.

Al combinar estructuras complejas de cavidades tales como las descritas con respecto a la Figura 4 y membranas con masas adicionales como se ha descrito con respecto a la Figura 5, se pueden conseguir todas las ventajas de ambas. Se ilustra tal dispositivo en la Figura 6, en la que se aplican números similares de referencia a piezas similares.

Los cMUT son estructuras resonantes en el aire con un factor de calidad bastante alto. Sin embargo, en inmersión la impedancia acústica del medio domina la impedancia mecánica del cMUT, lo que tiene como resultado una frecuencia operativa de banda muy ancha. Es típico un ancho de banda superior al 100% con los cMUT. Es posible aumentar el ancho de banda de los cMUT adicionalmente utilizando una masa adicional por debajo de la membrana, lo que se hace posible con la tecnología de unión de obleas descrita anteriormente. En inmersión se determina el extremo inferior de la respuesta de frecuencia del cMUT mediante el tamaño total del transductor. Cuando la frecuencia se vuelve tan baja que el dispositivo es mucho menor que la longitud de onda, la presión de salida del cMUT cae. El extremo superior de la respuesta de frecuencia del cMUT está limitado por la segunda resonancia de las membranas. Al empujar la segunda resonancia de las membranas de cMUT a frecuencias más altas es posible aumentar el ancho de banda. Por ejemplo, una masa adicional definida en forma de un anillo 61 formado en la membrana 62 soportada sobre la oblea portadora 63 por la capa 64 de óxido. En la Figura 7 se muestran las dimensiones para un ejemplo. La Figura 8 muestra un gráfico de las dos primeras frecuencias resonantes de la membrana mostrada en la Figura 7 como una función del grosor de la masa. La Figura 9 es un gráfico de la relación de las dos frecuencias que muestran un aumento definido en la segunda frecuencia de resonancia con respecto a la primera.

El procedimiento de creación de las estructuras complejas de cavidades descrito con respecto a la Figura 4 puede ser utilizado para abordar otros problemas. En vez de postes en el interior de la cavidad, se pueden crear pistones como se muestra en la Figura 10. Uno de los problemas a los que puede dar solución esta estructura es la capacitancia parásita. En un cMUT se consideran cualquier capacitancia no móvil, y cualquier capacitancia marginal una capacitancia parásita debido a que ni generan ni detectan ninguna onda acústica. Normalmente, el electrodo superior está modelado para reducir la capacitancia parásita al minimizar el área de metalización sobre la región no móvil. El electrodo inferior también puede ser modelado, para reducir adicionalmente la capacitancia parásita. Pero seguirá habiendo una capacitancia marginal inevitable. Utilizando la tecnología de unión de obleas para fabricar

cMUT, se puede diseñar y dominar la forma de las cavidades para minimizar los campos marginales, lo que mejoraría adicionalmente el rendimiento de un cMUT.

5 Como se ha descrito brevemente con anterioridad, se puede emplear el mismo procedimiento de unión por fusión para fabricar pMUT y mMUT. En vez de aplicar una capa conductora para formar cMUT, Figuras 1.9, 4.3, 5.6, 6 y 7, se puede formar un transductor piezoeléctrico o un transductor magnético en la membrana. Esto se ilustra de forma esquemática en las Figuras 11, 12 y 13 para una única célula.

10 Con referencia a la Figura 11, la célula incluye un sustrato 51 que es micromecanizado para formar las paredes 52 de la célula. Las paredes de la célula también pueden formarse al micromecanizar el óxido u otras capas. La membrana 53 está unida por fusión a las paredes y el transductor piezoeléctrico 54 está depositado sobre la membrana. El transductor incluye electrodos metálicos 56, 57 y material piezoeléctrico 58. Una tensión aplicada entre los electrodos genera un esfuerzo en el material piezoeléctrico y hace vibrar la membrana para generar ondas acústicas. Se mide el esfuerzo en el material piezoeléctrico mediante ondas acústicas recibidas por el pMUT.

15 En las Figuras 12 y 13 se han aplicado números similares de referencia a partes similares a las de la Figura 11. La Figura 12 muestra una bobina 61 en la membrana 53 mientras que la Figura 13 muestra un material magnético 62 en la membrana 53. Se hace vibrar a la membrana mediante campos magnéticos 63 para generar ondas acústicas o se detecta magnéticamente la vibración de la membrana.

20 Aunque se han descrito las membranas de silicio están fabricadas al unir por fusión obleas de silicio en óxido para formar células, se puede implementar la unión por fusión de las membranas de otros materiales. Por ejemplo, la membrana puede estar formada al depositar o crecer epitaxialmente una película de material 66 (por ejemplo, Si_x, N_x, Sil, etc.) sobre una oblea portadora 67 de material sacrificial, Figura 14, que puede ser eliminado después de que se ha unido por fusión la película o capa para formar la membrana de la célula. Como alternativa, se puede definir la membrana al unir por fusión una oblea de material deseado y luego al eliminar el material de la oblea mediante ataque químico, abrasión y pulido para dejar una membrana de grosor deseado.

25 En un procedimiento adicional se implanta una oblea 68, Figura 15.1, del material deseado de membrana para formar una superficie 69 de contacto sometida a grandes esfuerzos y está unida por fusión a las paredes 71 de las células 72, Figura 15.2. Entonces, se somete al conjunto a un ciclo térmico (cambio brusco) para separar del grueso a la capa delgada de material sometido a esfuerzos, Figura 15.3, y luego es superpulido, Figura 15.4, dejando los MUT con una membrana 73 de material y características seleccionados.

30 De esta manera, se han proporcionado MUT que tienen una membrana cuyo grosor y cuyas características pueden ser controlados estrechamente para proporcionar una mayor predictibilidad, una uniformidad y una reproducibilidad de los dispositivos MUT. Además, los dispositivos MUT pueden estar configurados para proporcionar una operación mejorada tal como características acústicas mejoradas y una reducción de capacitancia parásita.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de un transductor ultrasónico microfabricado que comprende las etapas de:
- 5 utilizar una oblea de silicio en aislante (SOI), comprendiendo dicha oblea de SOI una oblea (21) de soporte de silicio, una capa (22) de óxido y una membrana (14) de dicho transductor ultrasónico microfabricado;
 utilizar una oblea portadora (11) de silicio, estando dispuesta dicha oblea portadora (11) de silicio como un electrodo inferior de dicho transductor ultrasónico microfabricado;
 formar una película aislante (24) de grosor predeterminado sobre dicha oblea portadora (11) de silicio, determinando el grosor de dicha película aislante (24) una altura de las cavidades de dicho transductor ultrasónico microfabricado; **caracterizado porque**, utiliza fotolitografía para formar una máscara con
 10 aberturas en dicha película aislante (24), en el que dichas aberturas definen una forma de dicha cavidad;
 atacar químicamente dichas ventanas para formar dicha cavidad
 unir mediante oblea dicha película aislante (24) entre dicha oblea portadora (11) de silicio y dicha membrana (14) para formar células; y
 retirar dicha oblea (21) de soporte de silicio, y dicha capa (22) de óxido dejando dicha membrana soportada
 15 sobre dicha película aislante (24).
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha oblea portadora (11) de silicio puede ser una oblea de resistividad baja que la convierta en una placa posterior conductora o puede ser una oblea de resistividad alta y dopada de forma selectiva para definir un electrodo posterior modelado.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha membrana (14) es silicio o nitruro de silicio, o dicha membrana puede estar formada al depositar o hacer crecer epitaxialmente una película de material que comprende Si_x, N_x o Si_l sobre dicha oblea portadora.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha película aislante (24) es una película de óxido formada sobre dicho sustrato de silicio o dicha membrana (14).
5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha membrana (14) tiene áreas de distinto grosor.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha oblea 21 de soporte de silicio es atacada químicamente para configurar una pared inferior de dicha cavidad.
7. Un transductor ultrasónico obtenible mediante el procedimiento de la reivindicación 1, que comprende
 30 un cuerpo de silicio que tiene una superficie que forma una pared de una cavidad, en el que dicha profundidad de dicha cavidad se determina mediante el grosor de una capa (24) de óxido sobre dicho cuerpo (11) de silicio y una anchura de dicha cavidad se determina por medio de una máscara de decapado fotolitográfico;
 una capa (24) de óxido de silicio configurada para definir las paredes laterales de dichas cavidades; y
 una membrana de silicio fusionada al vacío al cuerpo de silicio, y mantenida separada del mismo, mediante dichas paredes de óxido de silicio para definir células al vacío con dicho cuerpo de silicio.
8. Un transductor ultrasónico como en la reivindicación 7, en el que dicha membrana (14) de silicio en cada una de dichas células tiene áreas de distinto grosor.
9. Un transductor ultrasónico de la reivindicación 8, en el que dicho cuerpo de silicio está configurado con regiones de distinta altura en cada una de dichas células.
10. Un transductor ultrasónico como en la reivindicación 9, en el que dicha membrana (14) de silicio en cada una de dichas células tiene una región de distintos grosores y en el que dicho cuerpo (11) de silicio está configurado con regiones de distinta altura en cada una de dichas células.
11. Un transductor ultrasónico como en las reivindicaciones 7, 8, 9 o 10, en el que la membrana (14) es la capa de silicio de una oblea de silicio sobre aislante.

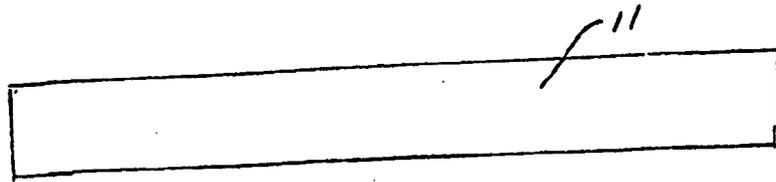


Figura 1.1

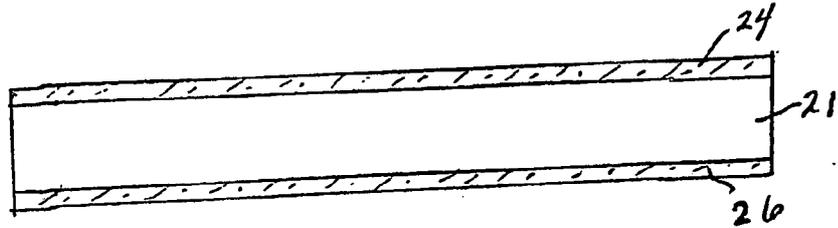


Figura 1.2

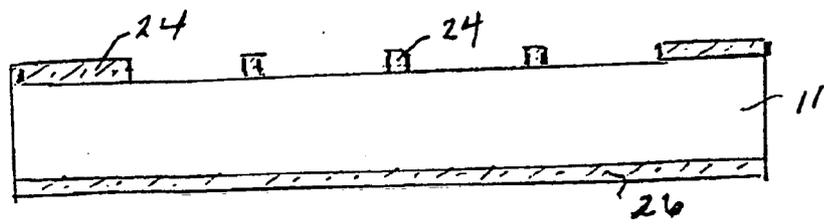


Figura 1.3

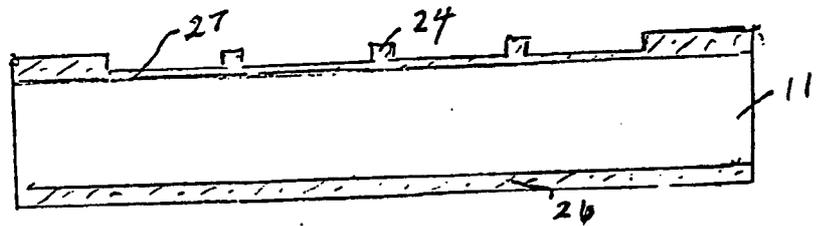


Figura 1.4

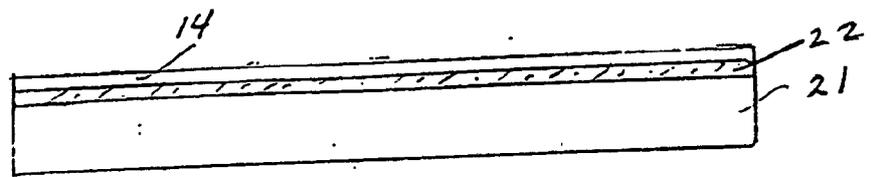


Figura 1.5

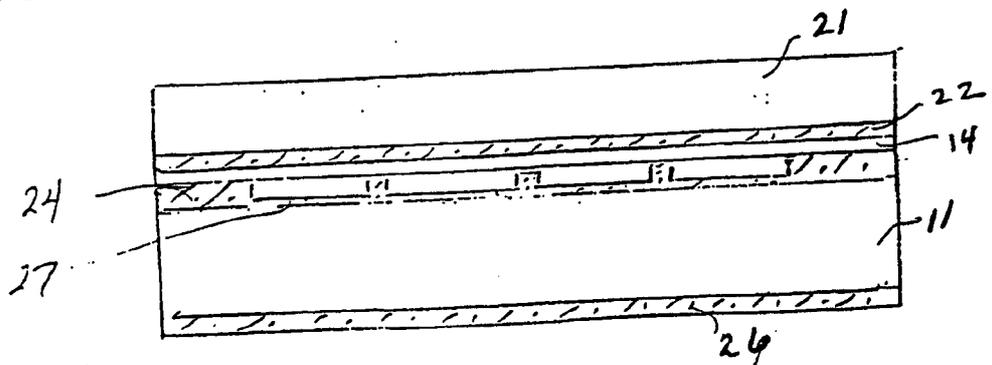


Figura 1.6

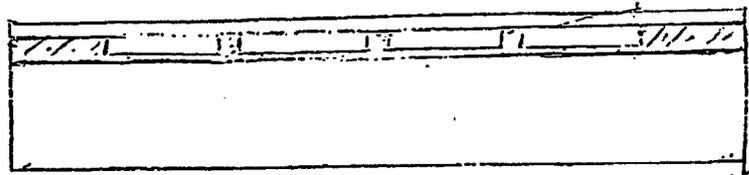


Figura 1.7

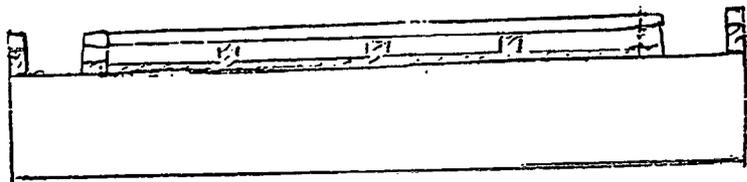


Figura 1.8

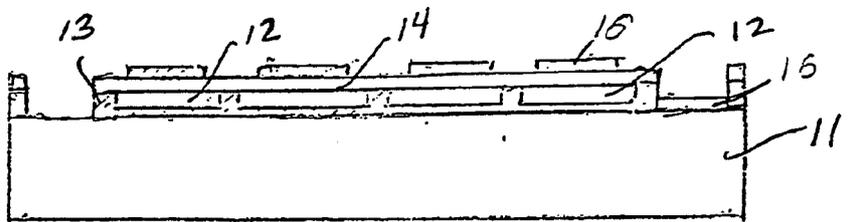


Figura 1.9

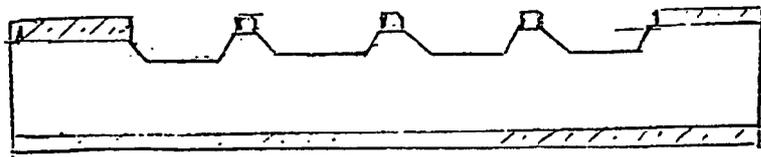


Figura 2

Figura 3.1

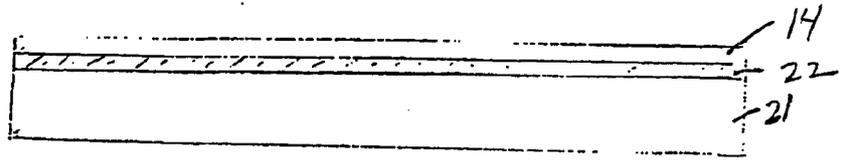


Figura 3.2

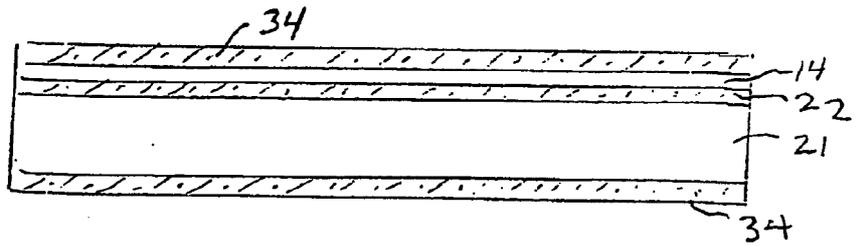


Figura 3.3

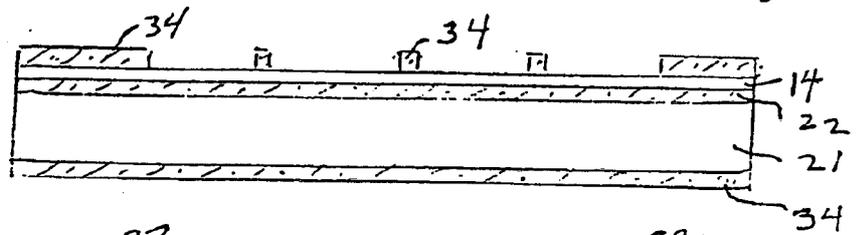


Figura 3.4

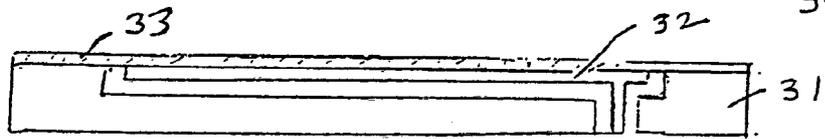


Figura 3.5

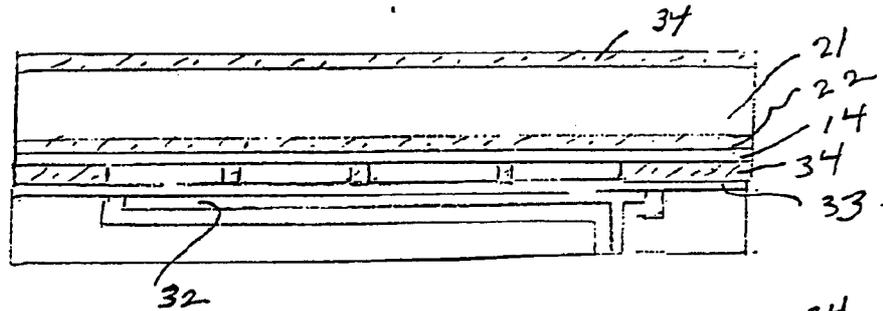
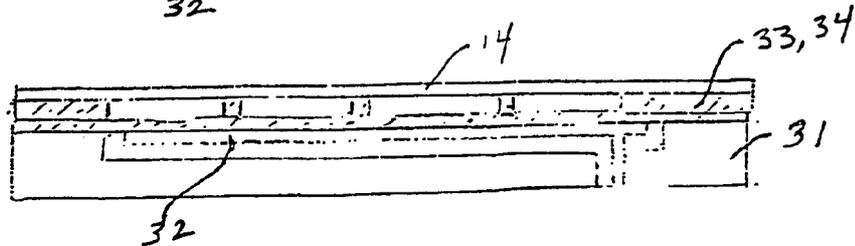


Figura 3.6



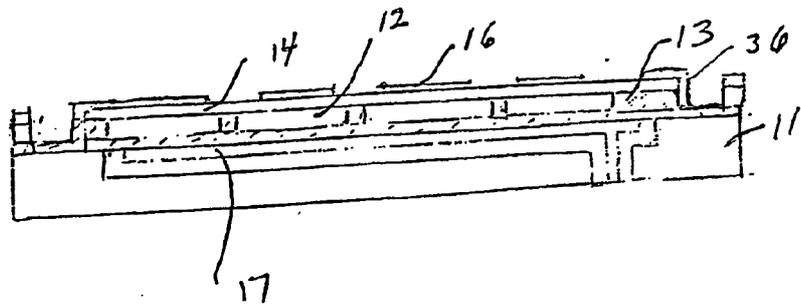


Figura 3.7

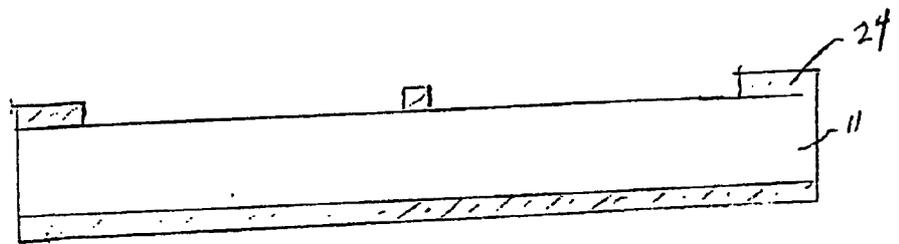


Figura 4.1

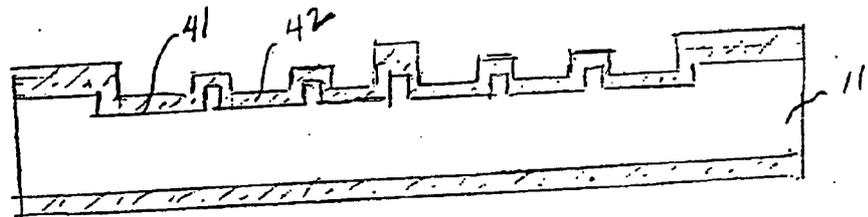


Figura 4.2

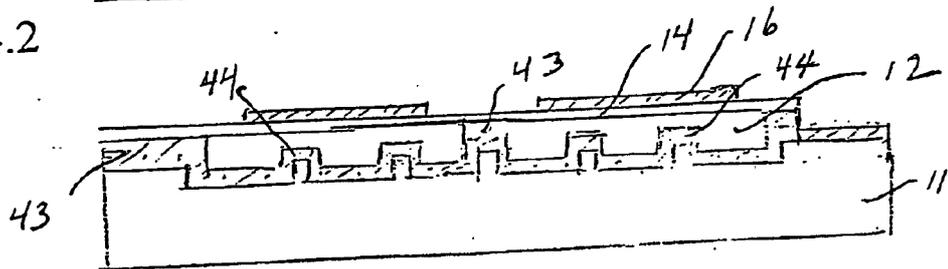


Figura 4.3

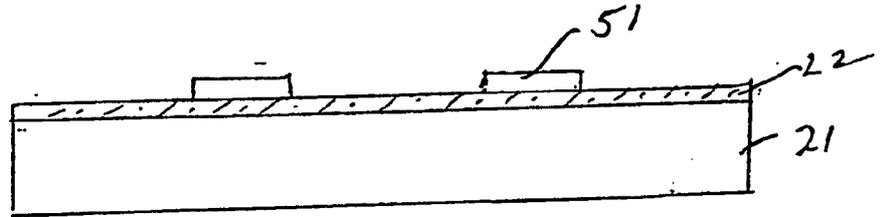


Figura 5.1

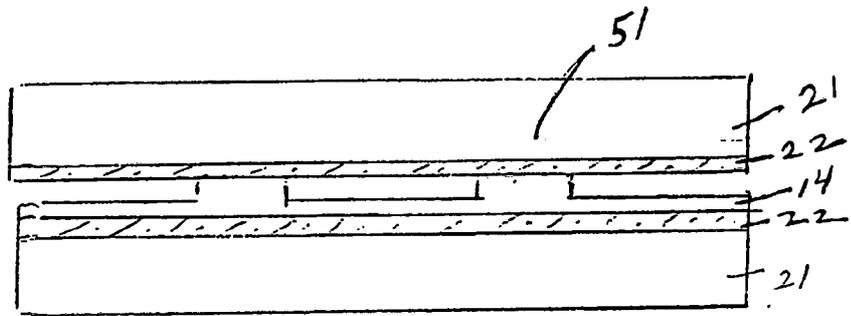


Figura 5.2

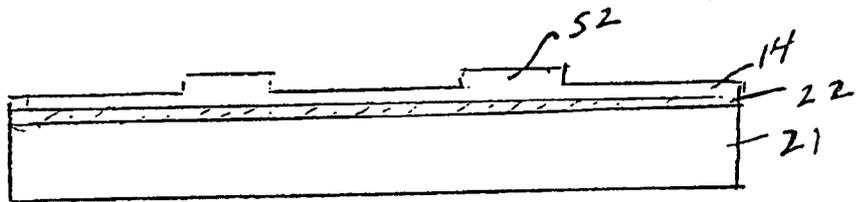


Figura 5.3

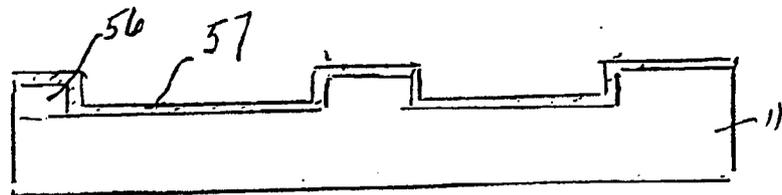


Figura 5.4

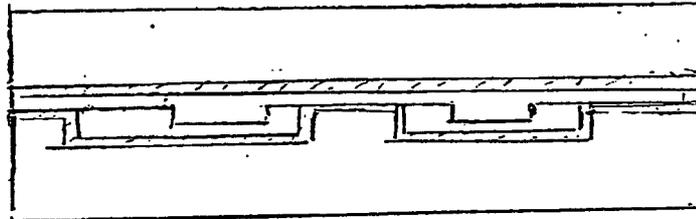


Figura 5.5

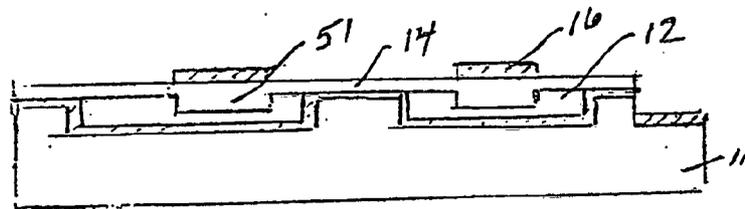


Figura 5.6

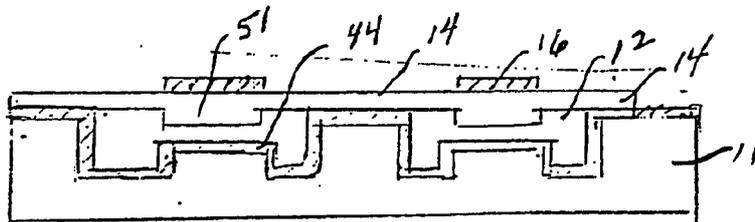


Figura 6

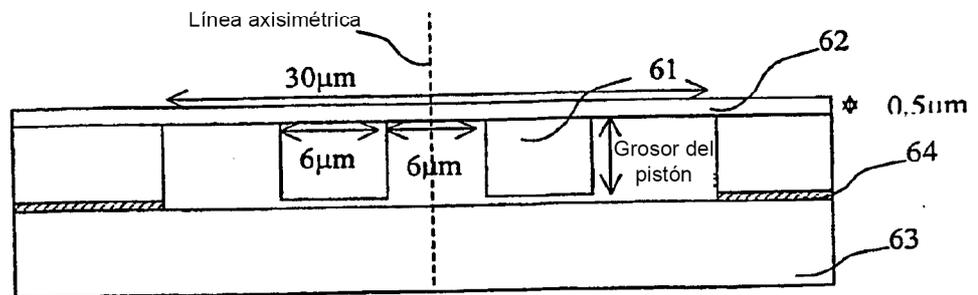


Figura 7

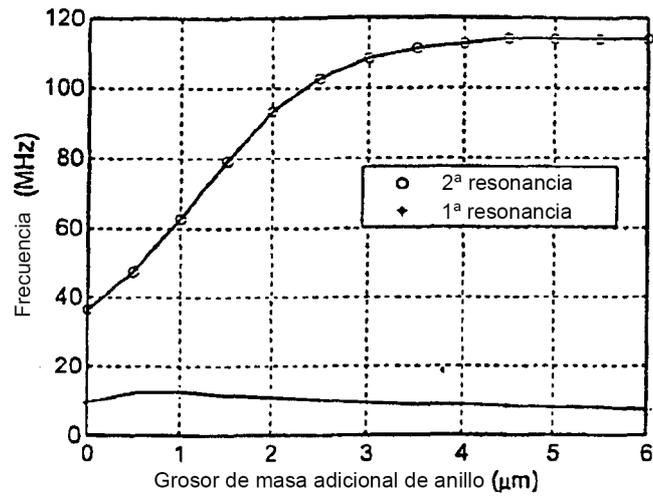


Figura 8

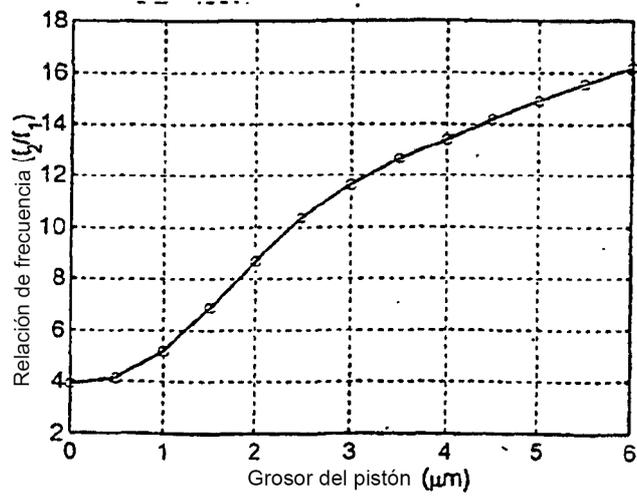


Figura 9

Figura 10

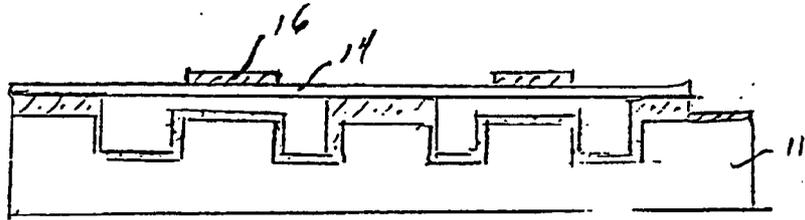


Figura 11

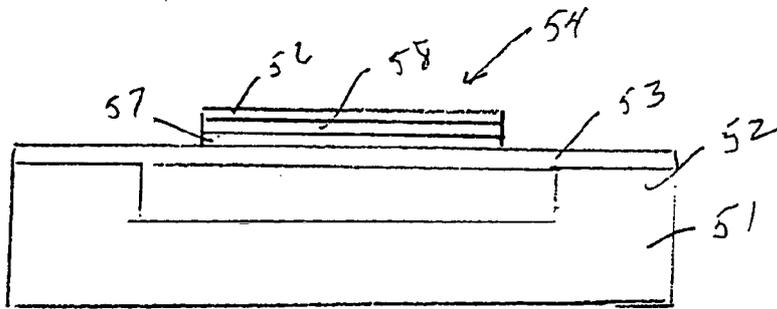


Figura 12

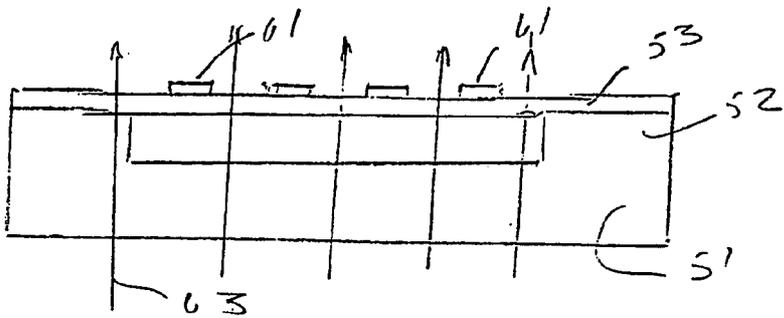
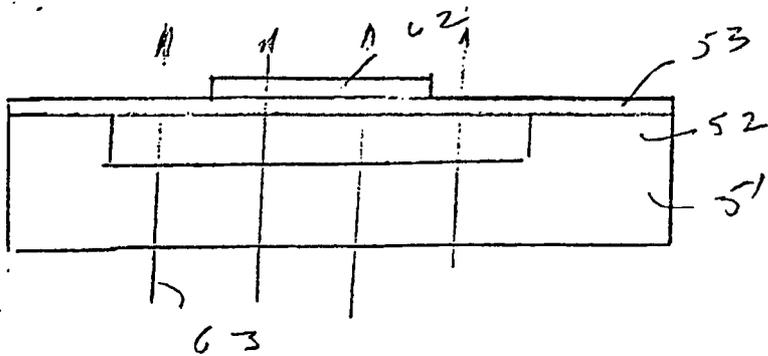


Figura 13



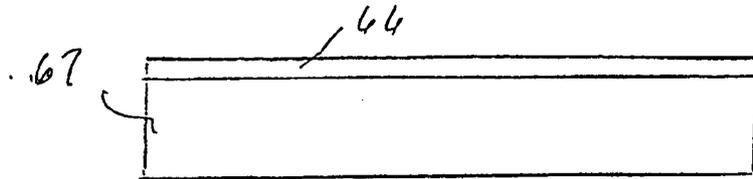


Figura 14

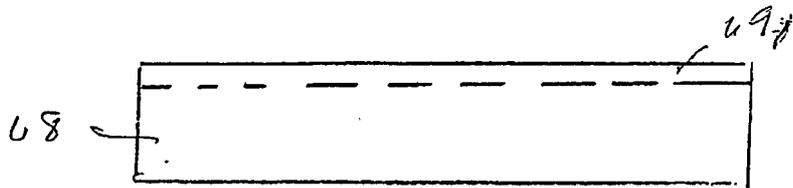


Figura 15.1

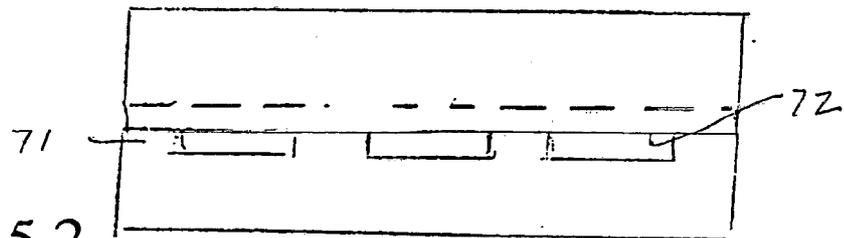


Figura 15.2

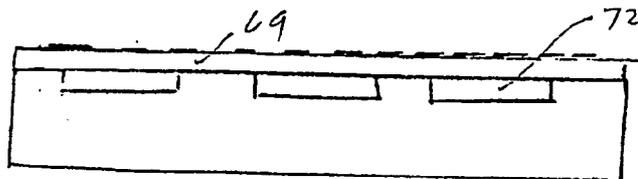


Figura 15.3

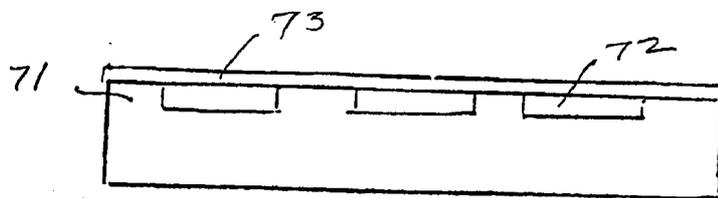


Figura 15.4