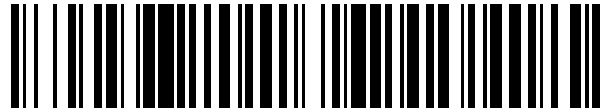


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 683**

51 Int. Cl.:

H01H 59/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2010 E 10778712 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015 EP 2499649**

54 Título: **Conmutadores MEMS y el empaquetado de los mismos**

30 Prioridad:

11.11.2009 GB 0919722
11.11.2009 EP 09275107

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.02.2015

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

PRITCHARD, ALAN, PETER y
KEDDIE, DAVID PETER

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 529 683 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

Conmutadores MEMS y el empaquetado de los mismos

5 Esta invención se refiere a conmutadores de sistema microelectromecánico (MEMS por las siglas en inglés de “micro electro-mechanical system”). En concreto se refiere a conmutadores MEMS de radiofrecuencia (RF), que pueden ser particularmente adecuados para su uso en montajes de conmutación con desplazamiento de fase compactos, por ejemplo, antenas en fase, y en algunos aspectos asimismo para otros dispositivos MEMS, no necesariamente de RF.

10 Los conmutadores MEMS de la técnica anterior pueden adolecer de pérdidas de inserción malas cuando funcionan a radiofrecuencias elevadas (por ejemplo, microondas). La ejecución de conmutadores nominalmente idénticos puede variar ampliamente, tanto en los de tipo de contacto directo (óhmico) como de contacto indirecto (capacitivo), en los que al menos una de las zonas de soldadura en contacto del conmutador tiene una capa de material dieléctrico sobre su superficie.

15 El documento WO 03/023805 A da a conocer un conmutador MEMS para conmutación de alta tensión que tiene una pareja de superficies de contacto relativamente movibles, siendo transportada una superficie por un elemento flexible, y medios actuadores para abrir y cerrar el conmutador, teniendo lugar el cierre del conmutador cuando el elemento flexible se deforma para juntar las zonas de contacto entre sí.

20 Se ha concluido que la fuente de este problema se encuentra en que las superficies de contacto del conmutador no se orientan entre sí de un modo consistente de conmutador a conmutador, o incluso en funcionamiento sucesivos del mismo conmutador. Esto puede ser el resultado de contaminación entre las superficies de contacto y/o del alineamiento de los propios contactos. Esto tiene el resultado de que, en lugar de que las superficies hagan contacto y se conformen entre sí sobre áreas sustanciales, en su lugar tan solo hay contacto sobre un área relativamente pequeña, que se aproxima en un caso extremo a tan solo un punto o línea de contacto. Un mal contacto tal como el de este caso puede ser particularmente perjudicial para un conmutador capacitivo.

25 Por lo tanto, de acuerdo con un aspecto de la invención se proporciona un conmutador MEMS que comprende una pareja de superficies que hacen contacto, al menos una de las cuales es movable con respecto a la otra para abrir o cerrar el conmutador, estando transportada dicha una superficie por un elemento flexible, y medios actuadores configurados para efectuar dicho movimiento relativo, siendo el conjunto tal que cuando el conmutador se cierra el elemento flexible se deforma para conformar la superficie de contacto definida sobre el mismo a la otra superficie de contacto.

30 Por “conmutador” se entiende un dispositivo en el cual una pareja de superficies de contacto se puede abrir o cerrar: puede haber más de una pareja de tales contactos en un dispositivo individual, (por ejemplo, conmutadores de terminal único multipolar), y/o se puede compartir un contacto entre dos otros contactos, por ejemplo, en un conmutador de doble terminal.

35 En una forma de este aspecto de la invención, dicha una superficie de contacto puede estar sobre una primera porción del elemento flexible que se une a una porción adicional del elemento flexible, escogiéndose las tensiones internas del elemento flexible de modo que se controle la forma de la primera porción y/o su disposición angular con respecto a la porción adicional.

40 En otra forma, dicha una superficie de contacto puede estar sobre una primera porción del elemento flexible que se une a una porción adicional del elemento flexible, comprendiendo el elemento flexible al menos dos capas de diferentes coeficientes de expansión térmica, elegidos de modo que se controle la forma de la primera porción y/o su disposición angular con respecto a la porción adicional.

45 En una forma adicional, dicha una superficie de contacto puede estar sobre una primera porción del elemento flexible que se une a una porción adicional del elemento flexible, comprendiendo el elemento flexible al menos dos capas que se han formado a diferentes temperaturas elevadas, de modo que se controle a temperatura ambiente la forma de la primera porción y/o su disposición angular con respecto a la porción adicional.

50 Estas tres formas se pueden utilizar individualmente o en cualquier combinación, de acuerdo con las reivindicaciones.

55 Preferiblemente, la superficie que hace contacto del elemento flexible presenta una forma deformable al menos parcialmente cóncava hacia la otra superficie que hace contacto cuando se encuentra separada de la misma.

60 Cuando las superficies que hacen contacto están separadas entre sí, la dicha superficie sobre la primera porción del elemento flexible puede ser paralela a o inclinada hacia la otra superficie de contacto desde este punto de unión a la porción adicional del elemento flexible.

La primera porción se puede unir a la porción adicional en un pliegue o línea de articulación.

El pliegue o línea de articulación pueden comprender una línea de debilidad que se dispone en el lado opuesto de dicha construcción desde una capa que tiende a dar dicha forma cóncava a la primera porción.

5 La forma del elemento flexible puede doblarse entre las primera porción y adicional.

Los medios actuadores pueden comprender una primera parte que se desvía térmicamente, electrostáticamente o electromagnéticamente con respecto a una parte de actuador adicional de modo que se efectúe dicho movimiento relativo.

10 La primera parte de actuador se puede disponer sobre el elemento flexible.

Alternativamente, los medios actuadores se pueden mover con respecto al elemento flexible.

15 Los medios actuadores se pueden adaptar para aplicar una fuerza de cierre a lo largo de una línea de acción que pasa a través de las superficies de contacto.

Los medios actuadores pueden estar soportados desde una estructura fija separadamente del elemento flexible.

20 Los medios actuadores pueden comprender al menos una viga en voladizo que tiene una parte que se solapa con el elemento flexible para efectuar dicho movimiento relativo.

El elemento flexible puede comprender una viga en voladizo.

25 Así pues, en un modo de realización los medios actuadores pueden comprender vigas en voladizo que se extienden a cada lado del elemento flexible, uniéndose entre sí partes terminales de la viga en voladizo para formar la parte de solapamiento.

30 Las vigas en voladizo de los medios actuadores y el elemento flexible pueden ser sustancialmente coplanares excepto por la porción de solapamiento.

Dicha una viga en voladizo puede tener una sección transversal curvada perpendicular a su eje longitudinal.

35 El conmutador puede estar contenido en un empaquetado que es al menos parcialmente transparente para permitir la inspección del conmutador, en concreto del estado de los contactos, durante la fabricación o posteriormente durante su uso.

40 Este elemento de empaquetado es de aplicación más amplia que tan solo para conmutadores MEMS. Por ejemplo, se puede utilizar en el empaquetado efectivo de un componente optoelectrónico el cual habría quedado de este modo expuesto en el sustrato de circuito.

Así pues, otro aspecto de la invención prevé un dispositivo MEMS empaquetado en el que un empaquetado en el cual está contenido el dispositivo es al menos parcialmente transparente ópticamente.

45 El empaquetado puede comprender una tapa de vidrio transparente.

Puede existir una estructura de pared separada que separa la tapa de vidrio de un sustrato de circuito.

50 La estructura de pared puede ser de vidrio o de un óxido de silicio.

La tapa puede unirse mediante una frita a la estructura de pared.

55 Puede existir una vía que se extiende a través del sustrato de circuito por debajo de la estructura de pared para formar una conexión eléctrica con el dispositivo.

Asimismo o alternativamente puede existir una vía a través de la estructura de pared para formar una conexión eléctrica con un conductor en el sustrato.

60 En otro aspecto la invención proporciona un método de fabricación de un conmutador MEMS de acuerdo con la reivindicación 11.

La invención se describirá ahora meramente a modo de ejemplo con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

65 la figura 1 muestra un conmutador MEMS de la técnica anterior;

las figuras 2 y 3 muestran conmutadores MEMS de acuerdo con la invención;

las figuras 4, 5, 6 y 7 muestran conmutadores adicionales de acuerdo con modos de realización respectivos de la invención;

5 la figura 8 ilustra un problema con conmutadores de la técnica anterior;

las figuras 9 y 10 muestran porciones de conmutadores de acuerdo con la invención;

10 la figura 11 muestra conmutadores adicionales de acuerdo con modos de realización de la invención;

la figura 12 muestra parte de la fabricación de conmutadores de acuerdo con la invención;

15 las figuras 13 y 14 muestran conmutadores adicionales de acuerdo con modos de realización de la invención;

las figuras 15 y 16 muestran empaquetados de conmutadores de acuerdo con la invención; y

la figura 17 muestra la fabricación del conmutador de la figura 15.

20 La figura 1 muestra esquemáticamente un conmutador MEMS de la técnica anterior normalmente abierto. En lo que es relevante aquí, este comprende un sustrato 10 sobre el cual se monta un contacto del conmutador 12. Una viga en voladizo flexible 14 se monta en el sustrato por medio de la estructura 16. El extremo 18 libre del voladizo tiene una cara inferior 19 que constituye el otro contacto del conmutador. La viga 14 es movable hacia el sustrato 10 mediante una pareja de electrodos 20, uno en el sustrato, el otro en la viga. Cuando se aplica una tensión a través de los mismos, se genera una fuerza electrostática suficiente para desviar la viga y cerrar el conmutador. El conmutador aquí es normalmente del tipo abierto, manteniendo la elasticidad natural de la viga 14 la porción de contacto 18 normalmente separada del contacto 12.

30 El conmutador MEMS se fabrica mediante el depósito de capas sucesivas de material sobre el sustrato y la eliminación selectiva de algunas de las mismas de modo que queden espacios (por ejemplo, el espacio entre la viga 14 y el sustrato 10). Las técnicas son conocidas para los expertos en la técnica y se basan en aquellas utilizadas en la fabricación de circuitos integrados, y por tanto no se describirán adicionalmente aquí excepto en lo que es relevante para la invención.

35 La viga 14 en concreto consiste típicamente en una estructura multicapa de una capa de nitruro encapsulada entre dos capas metálicas, partes discretas de una de las cuyas capas funcionan respectivamente como un electrodo actuador y como una superficie de contacto del conmutador.

40 La viga 14 se muestra como con una forma que ilustra el problema de los conmutadores de la técnica anterior. Aunque la porción 22 de la viga próxima a la estructura de montaje 16 tiene una forma aceptable, la porción terminal 18 está inclinada indeseablemente hacia arriba, lo que da como resultado un mal contacto con la superficie 12 del conmutador. De hecho, el área de contacto puede ser tan pequeña como para ser poco más que una línea de contacto. Esto es inaceptable, especialmente si el conmutador es capacitivo en lugar de óhmico, en donde un área de contacto consistente es crítica para una ejecución repetitiva de conmutador a conmutador y, para un conmutador concreto, para cada funcionamiento de conmutación.

50 Se ha concluido que la causa probable de este problema es una tensión residual descontrolada en la estructura multicapa de la viga, y se han diseñado dos aproximaciones básicas para aliviarla. Estas aproximaciones se ilustran en las figuras 2 y 3: ambas tienen el objetivo de provocar que la porción terminal flexible 18 de la viga 14 conforme su superficie de contacto 19 a la superficie correspondiente del contacto del conmutador 12.

55 En la figura 2, la viga 14 se fabrica (por ejemplo, mediante un método tal como el descrito a continuación) de modo que su porción terminal 18 presente una forma cóncava con respecto al contacto del conmutador 12. Preferiblemente, es cóncava tanto vista desde el lado como se ilustra, y cuando se ve desde el extremo, es decir, en sección transversal con respecto al eje longitudinal de la viga 14. Cuando la porción terminal 18 se conforma de este modo, la fuerza de cierre aplicada por los electrodos 20 provoca que se aplane sobre (es decir, se conforme a) la superficie del contacto del conmutador 12, garantizando así un área de contacto lo suficientemente grande para el funcionamiento efectivo. La porción terminal 18 se inclina hacia abajo con respecto a su punto de unión 24 con respecto a la porción proximal 22 de la viga, de modo que la punta de la viga toque el contacto 12 en primer lugar, y el resto de la cara inferior 19 de la porción 18 se pone progresivamente en contacto con este a medida que la viga baja. Esta forma de viga es adecuada para su actuación por electrodos situados como se describió hasta ahora, y es adecuada asimismo para su uso en la aproximación alternativa ilustrada en la figura 3.

65 En la figura 3, el conmutador se cierra mediante una fuerza aplicada directamente a la porción terminal 18 a lo largo de una línea de acción 26 que pasa a través de las superficies de contacto de esa porción y el contacto del conmutador 12. Esto garantiza que incluso si la porción terminal 18 está inclinada hacia arriba como en la figura 3,

esta es empujada hacia abajo sobre el contacto del conmutador 12 y, debido a su forma cóncava, se esparce para conformarse al mismo. De hecho, esta solución se puede aplicar incluso si la porción 18 es convexa hacia el contacto del conmutador 12, asumiendo que la fuerza se aplica mediante un elemento en forma de placa lo suficientemente grande para recubrir efectivamente la totalidad de la porción terminal 18 y para esparcir su superficie 19 para que se conforme a la superficie del contacto del conmutador. En este modo de realización, y de modo útil asimismo en el de la figura 2, la conexión 24 entre las porciones 18 y 22 de la viga 14 es en la forma de un pliegue o línea de articulación, para facilitar la conformación de la porción terminal 18 a la superficie del contacto del conmutador 12 una vez que la conexión 24 ha entrado en contacto con esa superficie.

10 La figura 4 muestra otro modo de realización de un conmutador actuado indirectamente. Por actuación indirecta se entiende una disposición en la cual la fuerza de actuación se aplica de un modo distinto a sobre una línea de acción que pasa a través de las superficies de contacto del conmutador. Por el contrario, la actuación directa es cuando la línea de acción de la fuerza de actuación pasa a través de estas superficies.

15 En la figura 4, y asimismo en figuras subsiguientes, las partes ya descritas tienen los mismos números de referencia. Este modo de realización difiere del de la figura 2 en que hay dos porciones que hacen contacto flexibles 18, 18' transportadas transversalmente de la extensión longitudinal de la viga sobre una parte intermedia cóncava 28 mediante pliegues 24, 24'. Cuando el conmutador se cierra, las porciones 18, 18' conectan dos contactos de conmutador separados 12, 12'; por lo tanto la señal de RF fluye solo en las porciones de viga 18, 28, y no tiene que ser tomada a través de la porción proximal 22 de la viga en donde puede estar sometida a interferencias procedentes del circuito de actuación de la viga.

25 Las porciones terminales 18, 18' son cóncavas vistas tanto desde el lado como en 30, y desde el extremo como en 32. Esto contribuye a provocar que se deformen de modo fiable para conformarse a la superficie de los contactos del conmutador 12, 12', asumiendo que se tiene cuidado de garantizar que el efecto de rigidización de la curvatura compuesta 30, 32 no reduce la adaptabilidad de la porción 18, 18' por debajo de lo necesario para la conformación de sus caras inferiores 19, 19' a las superficies de los contactos del conmutador 12, 12'. Aunque se muestra como cóncava, la forma de la porción intermedia 28 no es crítica, asumiendo que es lo suficientemente rígida para que la deformación tenga lugar principalmente en las porciones 18, 18', y la porción 28 permanezca separada de los contactos 12, 12' del conmutador, al menos hasta que las superficies 19, 19' de conmutación se han conformado a los mismos.

35 El modo de realización de la figura 5 es un ejemplo de un conmutador MEMS actuado directamente de acuerdo con la invención. En este modo de realización, los componentes 12, 14, 16, 18, 22, 24 se disponen como se describió con referencia a la figura 2, pero en su lugar los electrodos actuadores 20 se disponen para desviar una viga en voladizo 34 separada relativamente rígida, montada sobre el sustrato 10. La viga 34 se sitúa de modo que tras la flexión de su extremo, que transporta una parte de aplicación de fuerza adecuada 36, aplica una fuerza a lo largo de la línea 26 directamente a la porción terminal 18 del voladizo flexible 14. Esta fuerza directamente aplicada extiende de modo fiable la porción 18 para la conformación de contacto al contacto del conmutador 12. Una vez más, las señales de RF se pueden mantener bien separadas del circuito de actuación del conmutador.

45 Las figuras 6A y 6B muestran en vista lateral en alzado y en sección en planta otro modo de realización de actuación directa que tiene una huella más compacta que la de la figura 5. Aquí el voladizo de actuación 34 se sobrepone sobre el voladizo de conmutación 14. La aplicación de una tensión apropiada a los electrodos 20 tira del voladizo de actuación hacia abajo sobre la porción terminal 18 del voladizo 14, que se flexiona hacia abajo, girando la porción 18 alrededor de la articulación 24 para la conformación de contacto a la superficie de contacto del conmutador 12.

50 Las vigas 14, 34 se muestran como rectas, y de hecho el conmutador funcionaría de acuerdo con la invención en tal configuración, asumiendo que la zona de soldadura 36 aplica fuerza a la porción 18 sobre un área suficiente para aplanar cualquier deformidad local y conformarse al contacto del conmutador 12.

55 Las vigas 14 y 34 son de construcción encapsulada en la cual se disponen capas dieléctricas (nitruro de silicio o nitruro de silicio/óxido/nitruro como se describe a continuación) entre capas metálicas 38, 40 (para la viga 14) y 20, 41 (para la viga 34). Estas capas metálicas proporcionan una estructura equilibrada térmicamente que es relativamente resistente a distorsiones con cambios de temperatura. Si las capas 38 y 41 se omitieran habría una tendencia a que las vigas se curvaran con un cambio de temperatura debido a tensiones derivadas de la diferencia en los coeficientes de expansión térmica entre las capas dieléctricas y la capa metálica 40, 20.

60 En la variante de la figura 7, hay dos vigas de actuación en voladizo paralelas 34 dispuestas una a cada lado de la viga de conmutación 14, y coplanares con la misma excepto por una porción elevada 44 en el extremo que se levanta sobre la porción 18 de la viga 14. Esta disposición reduce la separación entre los electrodos 20 en la viga de actuador y aquellos en el sustrato 10. Por lo tanto, se puede reducir la tensión de funcionamiento.

65 Las figuras 8A y 8B ilustran el origen de una inclinación o curvatura indeseadas en la viga en voladizo 14 de conmutadores de la técnica anterior. La viga es de construcción encapsulada con una capa de nitruro de silicio 46 entre dos capas metálicas 45, 47, partes de la zona inferior de las cuales constituyen el electrodo actuador 20 y la

superficie del conmutador 19 de la porción 18. Cuando se colocan mediante técnicas de CVD convencionales, la capa de nitruro de silicio 46 es de espesor reducido en la porción de articulación 48 de la viga entre las porciones 19, 20 de la capa metálica, y tensiones residuales en la misma provocan que el extremo de la viga se curve y/o se incline hacia arriba.

5 Una solución que se ha identificado para esto es sustituir la capa de nitruro de silicio simple con una construcción de tres capas de una capa de óxido de silicio 50 entre dos capas de nitruro de silicio 52, 54, como se muestra en la figura 9. A continuación, mediante un control apropiado de los parámetros de proceso durante el depósito de las capas de modo que se utilice la diferencia en los coeficientes de expansión del óxido de silicio y nitruro de silicio, se puede establecer una tensión en la capa de óxido de silicio para contrarrestar las tensiones en las capas de nitruro, o de hecho para proporcionar una inclinación hacia arriba o hacia abajo como se requiera. La inclinación o curvatura se puede proporcionar depositando las capas de nitruro de silicio a diferentes temperaturas. A continuación, la contracción diferencial entre esas capas al volver a la temperatura ambiente da como resultado que se imponga la forma requerida sobre la estructura. Un resultado similar se puede conseguir depositando las dos capas de nitruro de silicio a presiones diferentes. La capa de menor presión será menos rígida por unidad de espesor que la capa de mayor presión, y por tanto la estructura se curvará separándose de esa capa cuando vuelva a temperatura ambiente.

20 La figura 10 muestra otra solución. Aquí, se forma una estructura de nitruro de silicio entre las capas metálicas 45, 47 en dos partes. En primer lugar, una capa de nitruro de silicio se deposita como en la figura 8B. Sin embargo, en lugar de depositar a continuación la capa metálica 45, la capa de nitruro de silicio se ataca (planariza) hasta la capa superior de la capa metálica 47, dejando tan solo una porción 54 de la capa de nitruro en la región entre el electrodo 20 y superficie de conmutación 19. Una capa de nitruro de silicio adicional 56 se coloca a continuación sobre la superficie plana ininterrumpida resultante. Debido a que esta capa 56 es de grosor uniforme tiene una tensión residual relativamente pequeña, y se puede conseguir una viga sustancialmente recta.

30 Las figuras 11A y 11B muestran un conmutador capacitivo actuado directamente que tiene un elemento flexible en el cual se están las superficies de contacto 19, 19', sobre una sección 18, 28 en forma de ala de gaviota. Por "ala de gaviota" se entiende que la curvatura de la sección se invierte o se dobla, como en 58. Esto proporciona holgura sobre los bordes de los contactos del conmutador 12, 12', que aquí se muestran como con un recubrimiento superficial dieléctrico 60. La viga del conmutador 14 es generalmente similar a de la figura 6 exceptuando por la porción en ala de gaviota.

35 Una viga de actuador adicional 34 se proporciona por encima de la viga flexible 14 y una zona de soldadura 36 de aplicación de fuerza se pone en contacto con la sección en ala de gaviota 18, 28 para conformar las superficies de contacto 19, 19' a los contactos del conmutador 12, 12'.

40 En una variación de este modo de realización, mostrada en la figura 11C, un bloque de tope 62 se dispone entre los contactos del conmutador 12, 12'. Este se pone en contacto por la porción central 28 de la sección en ala de gaviota tras un esparcimiento predeterminado de las superficies de contacto 19, 19' sobre los contactos del conmutador. Esto impide una deformación excesiva de la sección en ala de gaviota.

45 Las figuras 12A, B y C ilustran la fabricación de una porción en ala de gaviota 18, 28 de una viga del conmutador flexible tal como en la figura 11B u 11C. Los contactos del conmutador fijos 12, 12' se depositan sobre el sustrato 10 de modo que dejan un hueco 64 entre ambos. Una capa sacrificial, por ejemplo de poliimida, se deposita por encima de los contactos y el sustrato y a continuación se elimina selectivamente para dejar un bloque de relleno 66 en el hueco 64. El bloque 66 tiene resaltes 68 que están elevados sobre los bordes de los contactos 12, 12' que definen el hueco. Una capa adicional 70 de poliimida u otro material sacrificial conocido adecuado se deposita, lo que tiene el efecto de proporcionar resaltes 68 más redondeados de modo que la forma de la superficie superior de la capa protectora 70 proporciona el perfil requerido para la cara inferior 76 de la porción 18, 28 en ala de gaviota. Esta se deposita a continuación utilizando, por ejemplo, la técnica de control de tensión descrita con referencia a las figuras 8, 9 y 10. El grado en el que la porción en ala de gaviota se gira hacia arriba como en 58 para proporcionar una región doblada intermedia entre la posición de contacto y la sección central se determina mediante la elección del espesor de la primera capa de poliimida. Cuanto más gruesa la capa, más pronunciados son los resaltes que permanecen sobre el borde de los contactos 12, 12'.

60 La figura 12D muestran una forma en ala de gaviota menos pronunciada que no obstante todavía se dobla en 58. Con este componente (obtenido reduciendo el grosor del bloque 66), se puede reducir una tendencia de los extremos 18, 18' de la sección en ala de gaviota a inclinarse hacia arriba. Por lo tanto es más probable conseguir repetidamente un contacto consistente entre las superficies 19, 19' y los contactos del conmutador 12, 12'. Un bloque de tope como en 62 en la figura 11C se puede proporcionar igualmente si se desea en los modos de realización de las figura 12C y 12D.

65 La figura 13 muestra otro modo de realización en el cual las tensiones se controlan para proporcionar una forma deseada de viga del conmutador en voladizo flexible. Es similar a la viga multicapa 14 de la figura 6A (teniendo las partes correspondientes los mismos números de referencia) y en principio se puede utilizar tanto en configuraciones

accionadas directamente como accionadas indirectamente. La viga comprende una capa de nitruro de silicio central 37 que en la porción de vástago 22 de la viga se dispone entre capas superior e inferior externas 38, 40 de aleación de aluminio/silicio/cobre. En la porción de contacto 18 de la viga la capa de nitruro de silicio se dispone entre la capa inferior 40 de aleación de aluminio y una capa superior 39 bien de titanio o de aleación de aluminio que se ha depositado a menor presión que la capa 40. Cuando la capa 39 es de titanio, se aprovecha la diferencia en los coeficientes de expansión térmica del titanio y el aluminio para imponer la forma preferida en la porción de contacto 18 de la viga cuando esta está a temperatura ambiente. Debido a que el aluminio tiene un coeficiente de expansión mayor que titanio, la capa de aluminio se contrae más al enfriarse desde la temperatura del depósito elevada hasta la temperatura ambiente de lo que lo hace la capa de titanio. Esto da como resultado que la porción de contacto 18 de la viga adopte una forma cóncava hacia abajo como en 71.

Un control similar de la forma de la porción 18 se puede conseguir cuando ambas capas 39 y 40 son de aluminio (y por tanto tienen coeficientes de expansión térmica similares) depositando las capas a temperaturas elevadas diferentes. La capa depositada a la temperatura más alta se contraerá más al enfriarse hasta la temperatura ambiente de lo que lo harán las otras capas. Así pues, depositar la capa 40 a mayor temperatura que la capa 39 da como resultado que la porción de viga 19 tenga una forma cóncava hacia abajo. Alternativa o adicionalmente, se pueden variar otros parámetros de depósito (por ejemplo, la presión) de modo que las capas 39 y 40 tengan diferentes características (por ejemplo, tamaño de grano) y por lo tanto diferentes tensiones internas residuales. Esto se puede utilizar asimismo para conseguir conformar la porción 18. De hecho, si una de las capas 39, 40 es relativamente gruesa, se puede proporcionar una gradación de tensiones internas a través de su espesor variando, por ejemplo, su tamaño de grano. A continuación, la capa puede imponer por sí misma una curvatura requerida sobre la porción 18.

Si la capa metálica 40 de la porción vástago se utiliza como uno de los electrodos actuadores, la aplicación de la tensión de funcionamiento apropiada entre esta y el electrodo 20 se puede utilizar para superar cualquier curvatura residual hacia arriba (por ejemplo, como en 73). La tensión aplicada puede enderezar la porción vástago por el denominado "efecto cremallera" y tirar hacia abajo de la porción de contacto 18 para la conformación de contacto al otro electrodo del conmutador (no mostrado), flexionándose la viga lo necesario en la articulación 24.

La viga de conmutación de la figura 14 es similar a la de la figura 13, y solo se describirá el punto de diferencia. En este modo de realización, la articulación 24 comprende un hueco en la capa 40 que se superpone sobre la superficie opuesta de la viga por una porción extendida de la capa 39. La tendencia de esa capa a producir una forma cóncava hacia abajo como se describió anteriormente se ve ayudada por la adaptabilidad de la línea de debilidad proporcionada por el hueco 75, dando como resultado que la porción terminal 18 se incline en conjunto hacia abajo en 77.

Los conmutadores descritos hasta aquí se empaquetan en el sustrato 60 como se muestra en la figura 15. En la figura se muestran tan solo la viga de contacto 14 y los electrodos de contacto del conmutador 12, 12' como representativos de un conmutador típico en su conjunto.

El conmutador se encapsula en una tapa de vidrio en forma de cúpula 80, cuyas al menos superficies superiores interna y externa se pulen de modo que la tapa es ópticamente transparente, y se puede inspeccionar el estado del conmutador y si es necesario su funcionamiento. Las paredes laterales de la tapa se pegan y se sellan mediante técnicas conocidas en un entorno de presión reducida o gas inerte al sustrato de silicio 10 sobre el cual se construye el conmutador. El volumen dentro de la tapa está así en una atmósfera controlada y se deben adoptar precauciones para garantizar que la fabricación de las conexiones al conmutador desde el exterior no rompen el sellado hermético entre la tapa y el sustrato. Normalmente, tales conexiones se realizan a pistas de aluminio como en 88 que se extienden a través de la unión tapa/sustrato, pero aquí la invención ofrece una solución alternativa. Una porción 90 de la pared de la tapa 80 se hace más espesa de modo que se puede formar una vía 92 a través del sustrato dentro de la anchura de la pared sin comprometer la hermeticidad. A continuación se puede hacer una conexión directamente a una pista de conexión 94 del conmutador desde una pista de un plano trasero 96 del sustrato 10. Además de preservar la integridad de la hermeticidad, esta aproximación permite una configuración montada sobre toda la superficie para el conmutador, y evita igualmente la dificultad de tener que oxidar y exponer la pista de aluminio antes de realizar una conexión de hilo o soldada a la misma en 88. Además, al incorporar la conexión en el perímetro de las paredes del paquete, no solo se reduce la huella del dispositivo, permitiendo una mayor densidad de empaquetado tanto durante la fabricación como en el producto acabado, sino que la pared del paquete proporciona una resistencia estructural adicional durante la formación de la vía y posteriormente, mejorando la fiabilidad a largo plazo del conjunto.

La figura 16 muestra una forma alternativa de la tapa 80. Aquí la pared 98 se forma como un componente separado, bien de vidrio o de silicio. La pared 98 se une primeramente al sustrato 10, y a continuación la tapa de vidrio transparente se une sobre la misma, por ejemplo mediante unión por fritada. La figura 14 ilustra asimismo que se puede proporcionar una vía 100 a través de la pared 98 para proporcionar acceso a una pista en el sustrato para permitir realizar una conexión al mismo si no se encuentra disponible una conexión al plano trasero.

Las figuras 17A-E ilustran el proceso de empaquetar conmutadores MEMS (aquí mostrados como en la figura 11C)

5 en masa sobre una oblea. En la figura 17A, la superficie superior del sustrato 10 se recorta primer lugar alrededor de los conmutadores en la oblea (solo se muestra uno) para dejar una zona de soldadura periférica 102 alrededor de cada conmutador para formar una montura para la tapa 80. Un conjunto de tapas 80 se unen a continuación a sus zonas de soldadura respectivas 102 (figura 17B). Una capa de cera o cinta 104 se aplica a la superficie superior pulida de la tapa para protegerla durante su manejo posterior (figura 17C), y la cara inferior del sustrato de la oblea 10 se pule en 105 para prepararla para el depósito de pistas de oro del plano trasero 106 (figura 17D). A continuación, los conmutadores empaquetados se cortan con sierra en 108 para separarlos en unidades individuales (figura 17E).

REIVINDICACIONES

1. Un conmutador MEMS para su uso en frecuencias de radio o de microondas, que comprende una pareja de superficies que hacen contacto (12, 19), al menos una (19) de las cuales es movable con respecto a la otra (12) para
5 abrir o cerrar el conmutador, estando transportada una dicha superficie (19) por un elemento flexible (14), y medios actuadores (20, 20) configurados para efectuar dicho movimiento relativo, y en el que dicha superficie de contacto (19) está sobre una primera porción (18) del elemento flexible (14) que se une a una porción adicional (22) del elemento flexible, habiendo sido escogidas las tensiones internas en el elemento flexible (14) de modo que se controla la forma de la primera porción (18) y/o su disposición angular con respecto a la porción adicional (22),
10 caracterizado porque la disposición es tal que cuando el conmutador se cierra el elemento flexible (14) se deforma para conformar la superficie de contacto (19) definida en el mismo a la otra superficie de contacto (12).
2. El conmutador de la reivindicación 1, en el que una dicha superficie de contacto (19) está sobre una primera porción (18) del elemento flexible (14) que se une a una porción adicional (22) del elemento flexible, comprendiendo
15 el elemento flexible (14) al menos dos capas (50, 52, 54) con diferentes coeficientes de expansión térmica elegidos de modo que se controle la forma de la primera porción (18) y/o su disposición angular con respecto a la porción adicional (22).
3. El conmutador de la reivindicación 1 o 2, en el que una dicha superficie de contacto (19) está sobre una primera porción (18) del elemento flexible (14) que se une a una porción adicional (22) del elemento flexible, comprendiendo
20 el elemento flexible (14) al menos dos capas (50, 52, 54) que se han formado a diferentes temperaturas elevadas de modo que se controle a temperatura ambiente la forma de la primera porción (18) y/o su disposición angular con respecto a la porción adicional (22).
4. El conmutador de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el medio actuador (20, 34) es movable con respecto al elemento flexible (14) y está adaptado para aplicar una fuerza de cierre a lo largo de una línea de acción
25 (26) que pasa a través de las superficies de contacto (12, 19).
5. El conmutador de cualquier reivindicación anterior, en el que el medio actuador (20, 34) está soportado desde una estructura fija separadamente del elemento flexible (14).
30
6. El conmutador de cualquier reivindicación anterior, en el que el medio actuador comprende al menos una viga en voladizo (34, 34) que tiene una parte (44) que se solapa con el elemento flexible (18) para efectuar dicho movimiento relativo.
35
7. El conmutador de la reivindicación 6, en el que el medio actuador comprende vigas en voladizo (34, 34) que se extienden a cada lado del elemento flexible (14), uniéndose entre sí partes terminales de la viga en voladizo (34, 34) para formar la parte de solapamiento (44).
40
8. El conmutador de cualquier reivindicación anterior, en el que la superficie que hace contacto (19) del elemento flexible (14) presenta una forma deformable al menos parcialmente cóncava hacia la otra superficie que hace contacto (12) cuando se separa de la misma.
45
9. El conmutador de cualquier reivindicación anterior, en el que cuando las superficies que hacen contacto (12, 19) están separadas entre sí, la dicha superficie (19) sobre la primera porción (18) del elemento flexible (14) es paralela a o se inclina hacia la otra superficie de contacto (12) desde su punto de unión (24) con respecto a la porción adicional (22) del elemento flexible (14).
50
10. El conmutador de las reivindicaciones 8 o 9, en el que la forma del elemento flexible (14) se dobla entre las primera porción (18) y adicional (22).
55
11. Un método de fabricación de un conmutador MEMS de acuerdo con cualquier reivindicación anterior en el que el elemento flexible (14) se construye en capas, comprendiendo una primera capa (47) una pluralidad de áreas metálicas separadas (19, 20), separadas por un material dieléctrico (48), incluyendo el método las etapas de planarizar el material dieléctrico (48) de modo que las áreas metálicas (19, 20) y el material dieléctrico (54) proporcionen una superficie sin interrupciones, y depositar una capa adicional de material dieléctrico (56) sobre esa superficie.
60
12. El método de la reivindicación 11, que comprende formar el material dieléctrico (54) entre las áreas metálicas (19, 20) depositando una capa (46) del material sobre las capas metálicas (19, 20) de modo que se introduzca en el espacio entre ambas, y a continuación eliminar esa capa (46) excepto por el material (54) entre las áreas metálicas (19, 20) mediante dicha planarización

Fig.1.

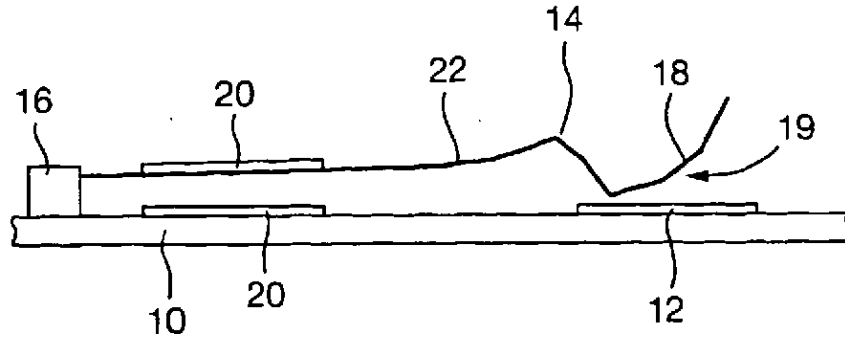


Fig.2.

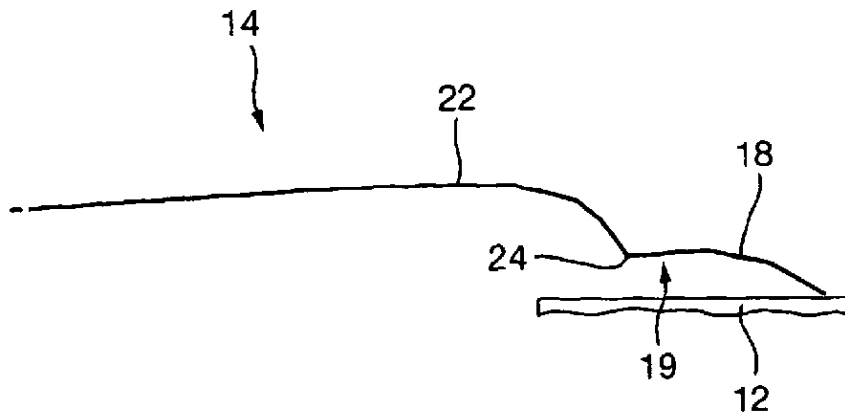


Fig.3.

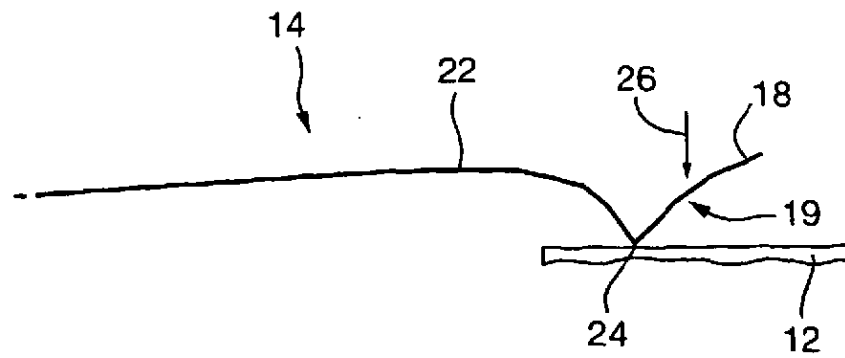


Fig.4.

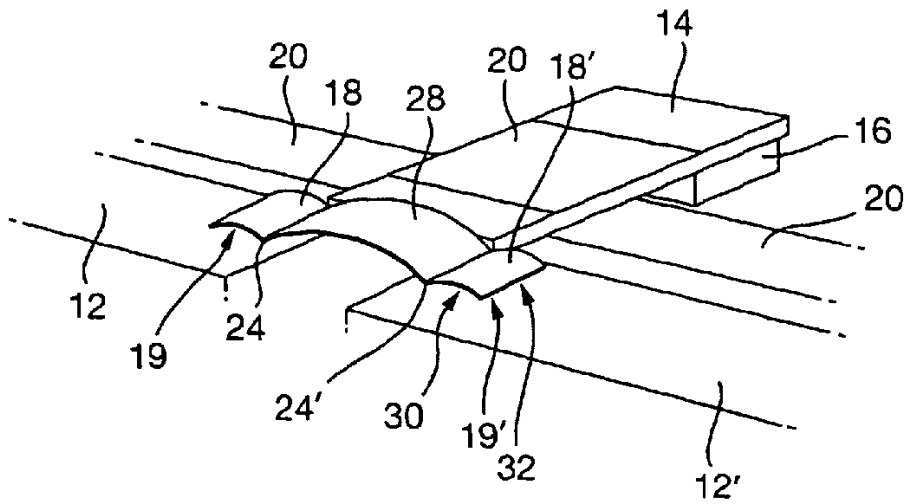


Fig.5.

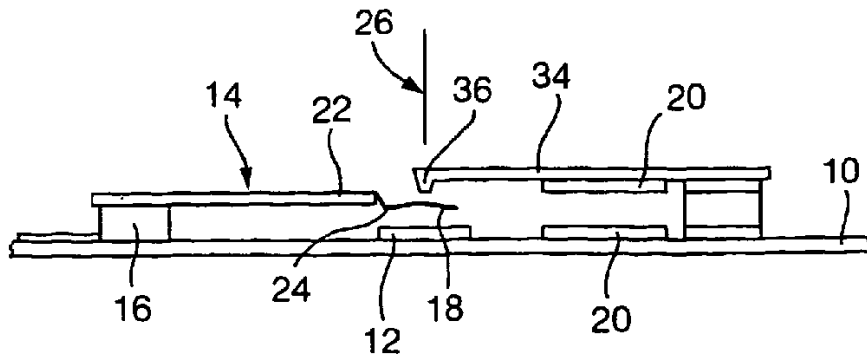


Fig.6A.

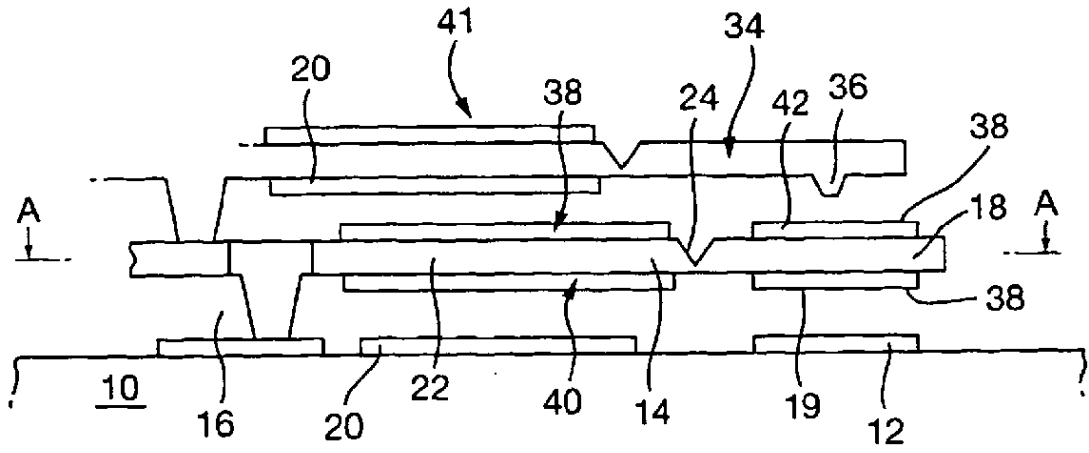


Fig.6B.

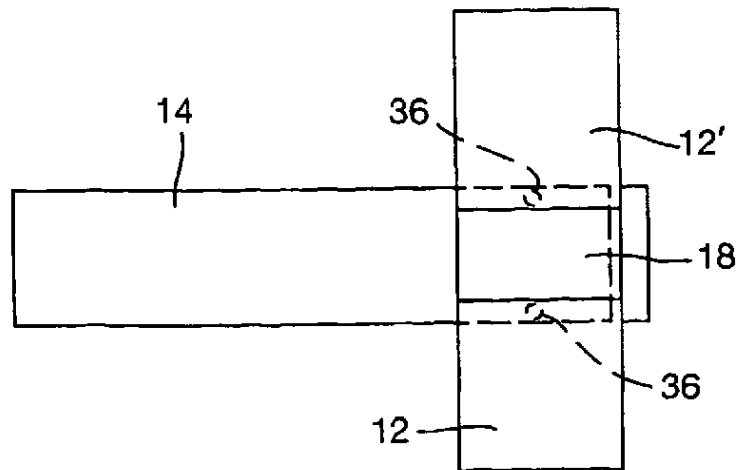


Fig.7.

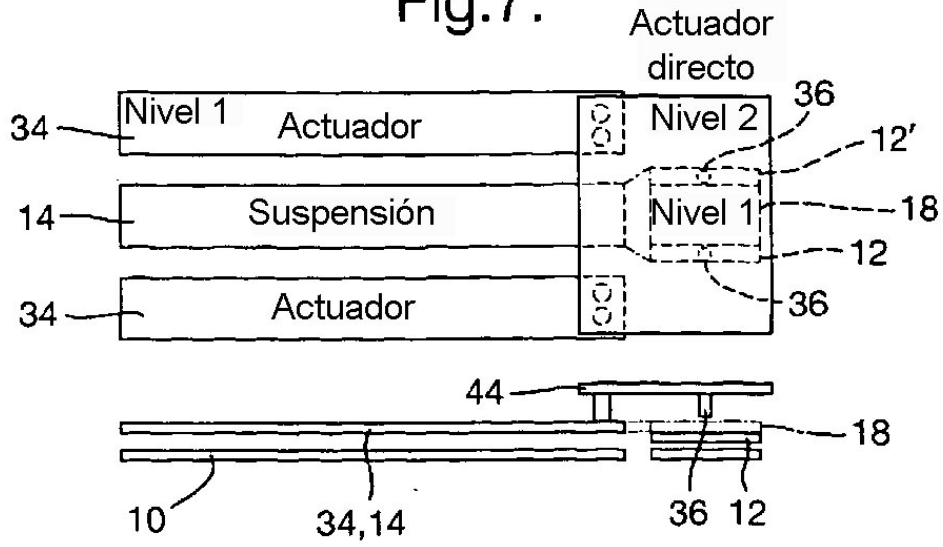


Fig.15.

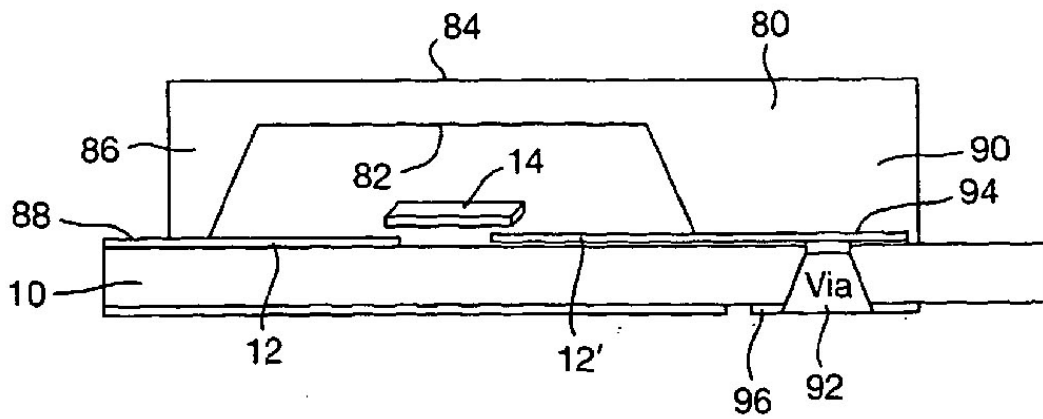


Fig.16.

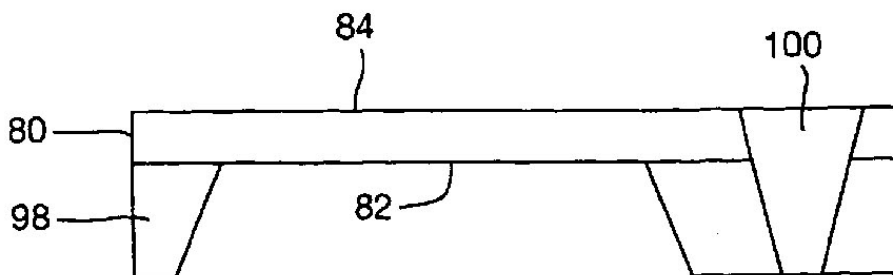


Fig.8A.

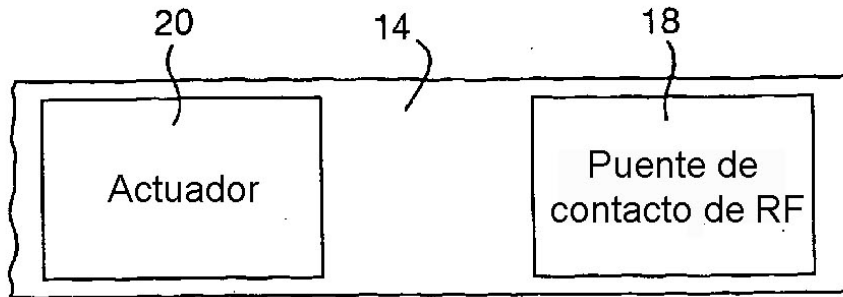


Fig.8B.

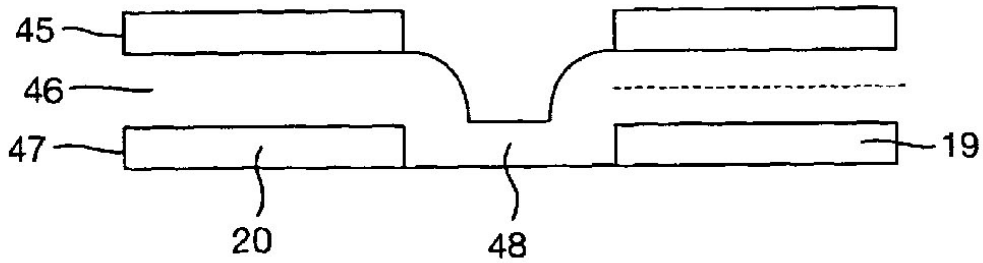


Fig.9.

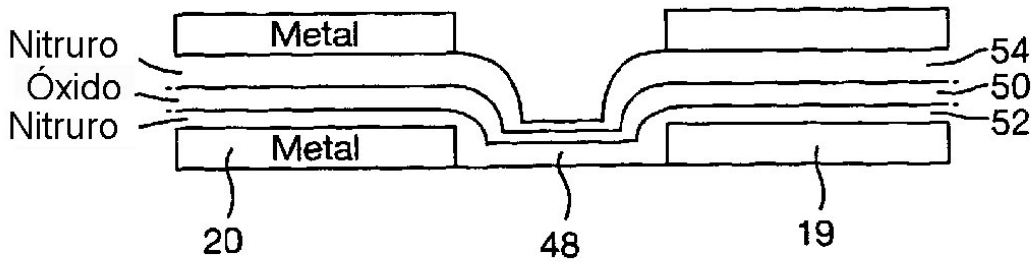


Fig.10.

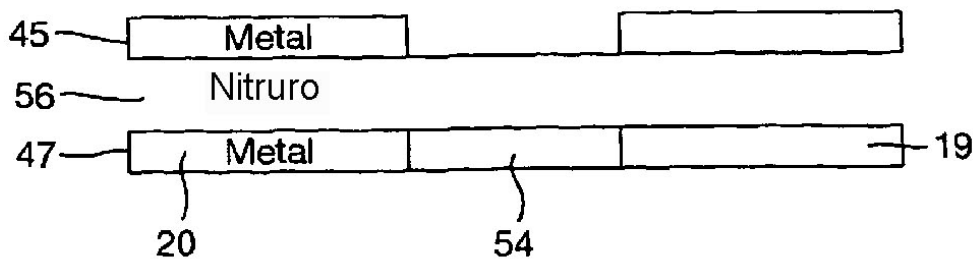


Fig.11A.

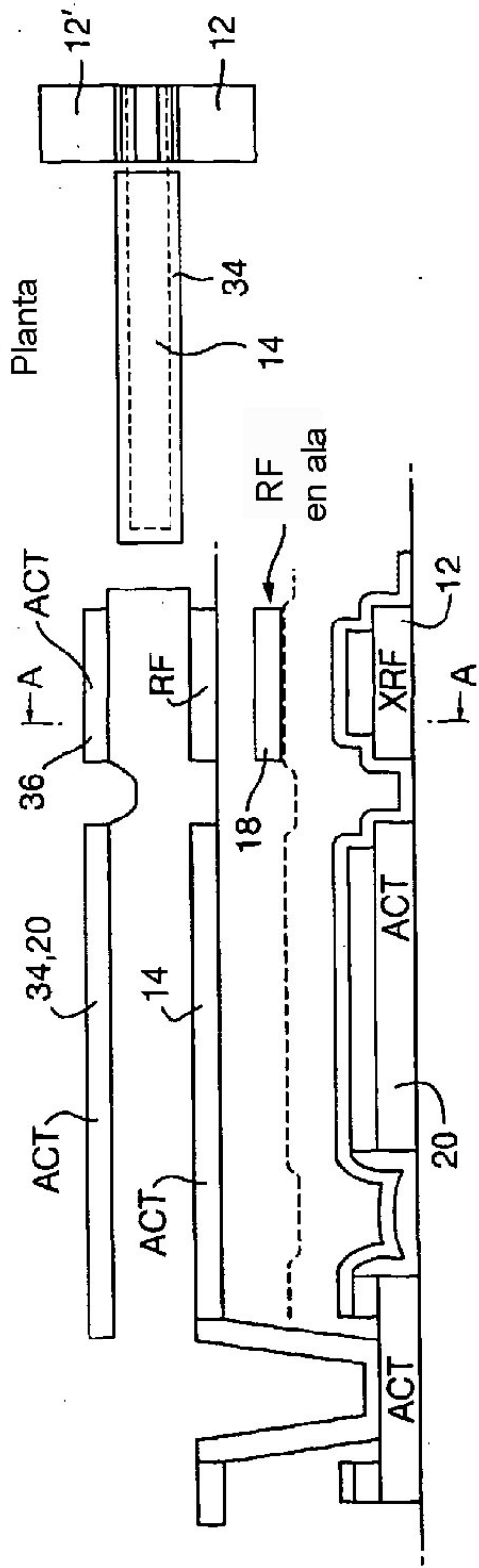
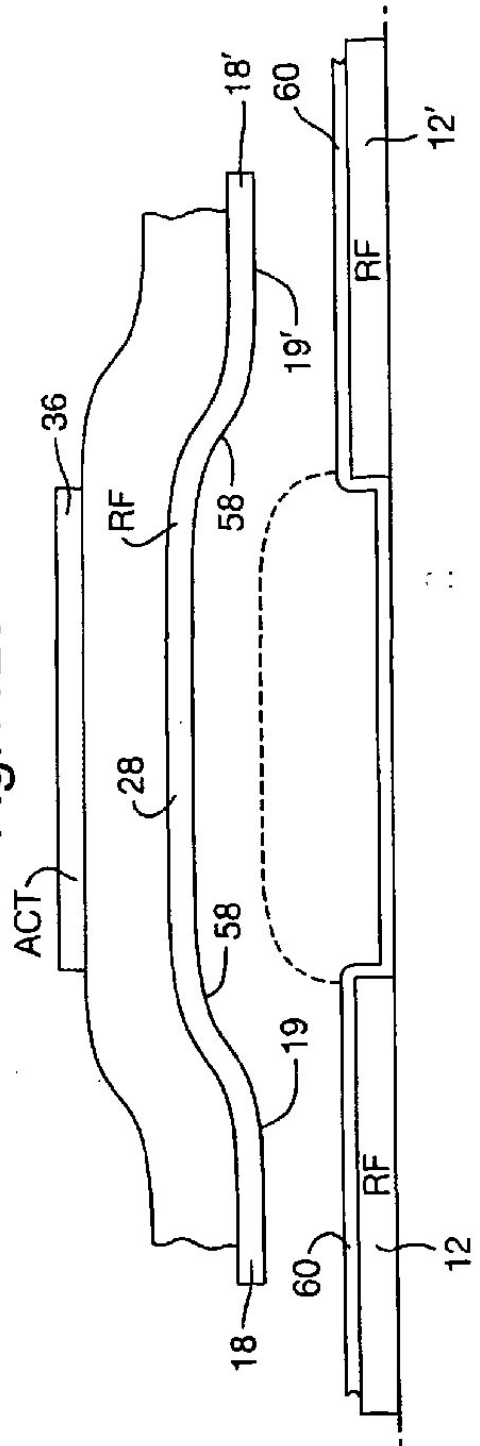


Fig.11B.



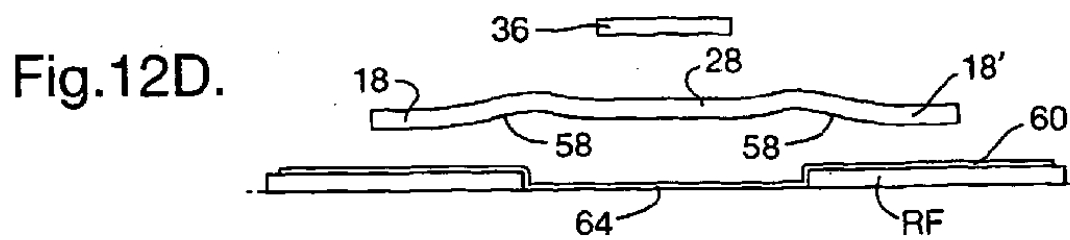
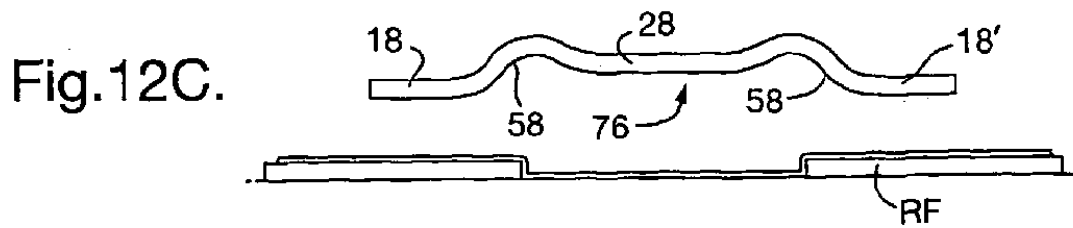
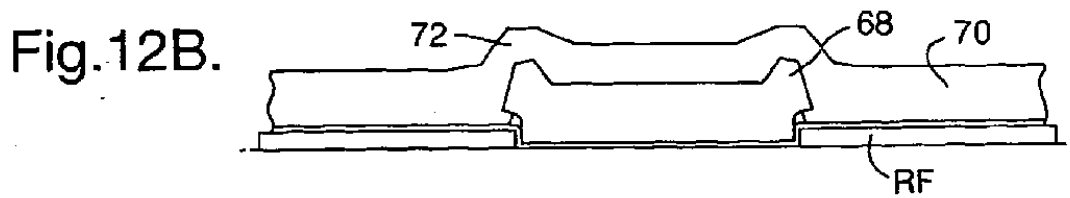
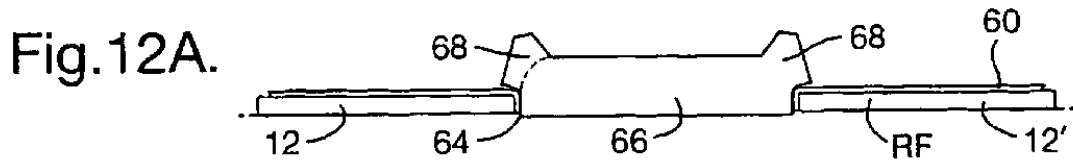
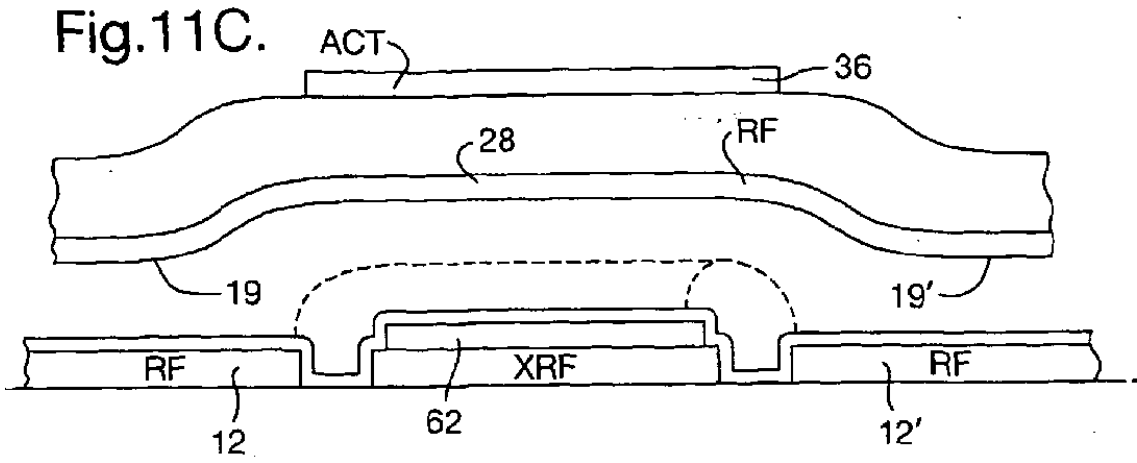


Fig.13.

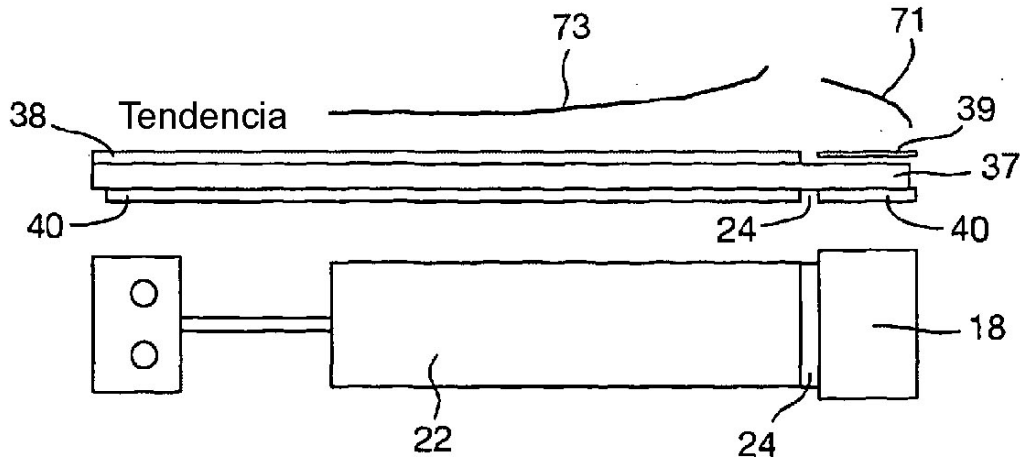


Fig.14.

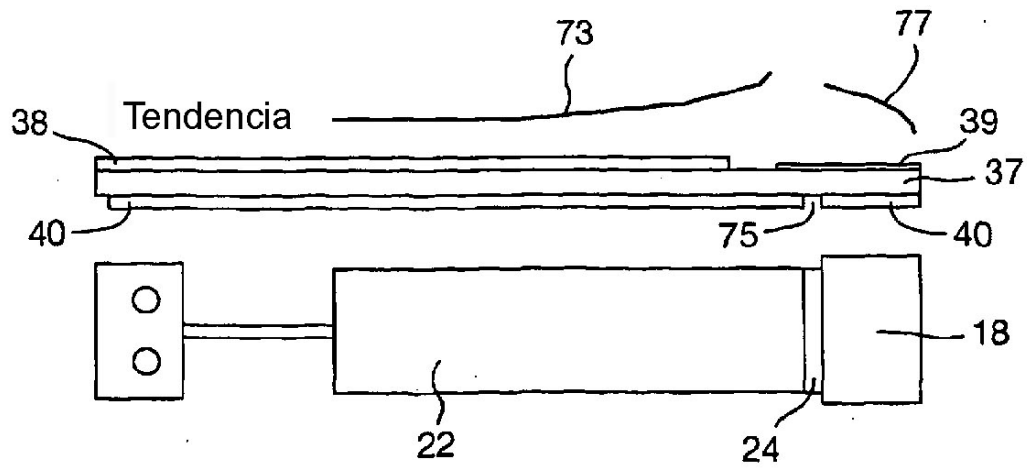


Fig.17A.

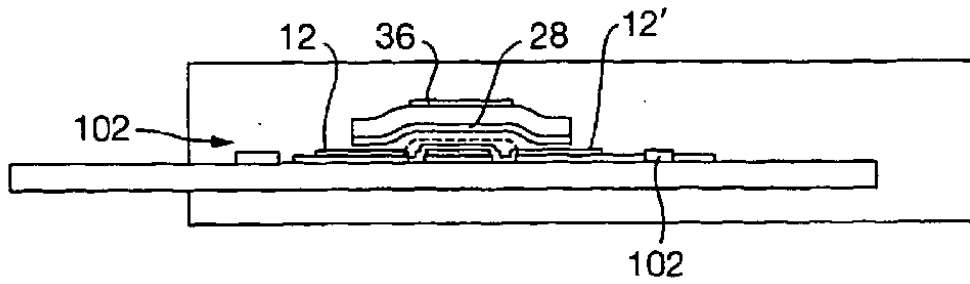


Fig.17B.

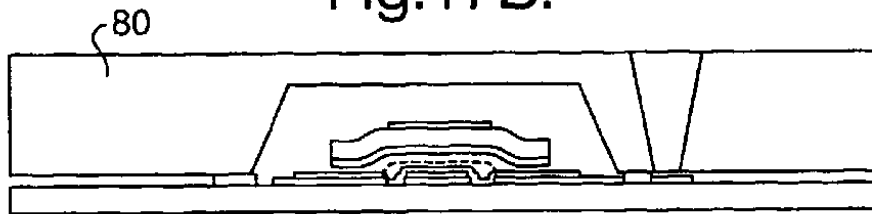


Fig.17C.

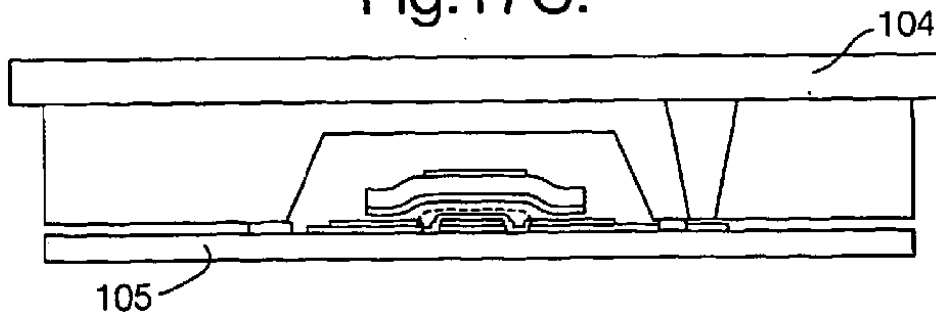


Fig.17D.

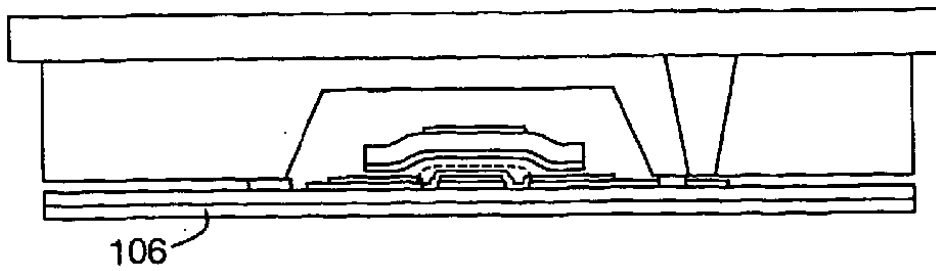


Fig.17E.

