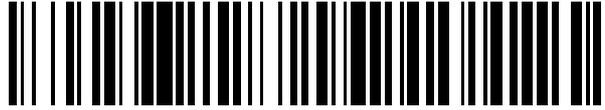


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 223**

51 Int. Cl.:

B81C 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2004 PCT/US2004/009492**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2004 WO04109769**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2004 E 04785661 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 1634328**

54 Título: **Sistemas y métodos microelectromecánicos para encapsular y fabricar los mismos**

30 Prioridad:

04.06.2003 US 454867

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

22.06.2020

73 Titular/es:

ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)

Postfach 30 02 20

70442 Stuttgart, DE

72 Inventor/es:

PARTRIDGE, AARON;

LUTZ, MARKUS y

KRONMUELLER, SILVIA

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 768 223 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

Sistemas y métodos microelectromecánicos para encapsular y fabricar los mismos

Antecedentes

- 5 Esta invención se relaciona con sistemas electromecánicos y técnicas para la fabricación de sistemas microelectromecánicos y nanoelectromecánicos; y más particularmente a la fabricación o manufacturación de sistemas microelectromecánicos y nanoelectromecánicos con circuitos integrados de alto rendimiento en un sustrato común.
- 10 Los sistemas microelectromecánicos ("MEMS"), por ejemplo, giroscopios, resonadores y acelerómetros, utilizan técnicas de micromaquinado (es decir, técnicas litográficas y otras técnicas de fabricación de precisión) para reducir los componentes mecánicos a una escala que en general es comparable a la microelectrónica. Los MEMS típicamente incluyen una estructura mecánica fabricada a partir de, por ejemplo, un sustrato de silicio utilizando técnicas de micromaquinado.
- 15 Las estructuras mecánicas están típicamente selladas en una cámara. La delicada estructura mecánica puede sellarse, por ejemplo, en un recipiente metálico sellado herméticamente (por ejemplo, una "lata" TO-8, véase, por ejemplo, la patente de los Estados Unidos Número 6,307,815) o adherirse a un sustrato semiconductor o similar al vidrio que tiene una cámara para alojar, acomodar o cubrir la estructura mecánica (véanse, por ejemplo, las patentes de los Estados Unidos Números 6,146,917; 6,352,935; 6,477,901 y 6,507,082). En el contexto del recipiente metálico sellado herméticamente, el sustrato sobre el cual reside la estructura mecánica puede colocarse y fijarse al recipiente de metal. El contenedor de metal herméticamente sellado también sirve así mismo como paquete primario.
- 20 En el contexto de la técnica de empaquetado del sustrato semiconductor o similar al vidrio, el sustrato de la estructura mecánica puede estar unido a otro sustrato con lo que los sustratos unidos forman una cámara dentro de la cual reside la estructura mecánica. De esta forma, el entorno operativo de la estructura mecánica puede controlarse y la propia estructura puede protegerse, por ejemplo, de un contacto accidental. Los dos sustratos unidos pueden o no ser el paquete primario también para los MEMS.
- 25 Los MEMS que emplean un recipiente de metal sellado herméticamente o un sustrato semiconductor unido o similar al vidrio para proteger las estructuras mecánicas tienden a ser difíciles de integrar de manera rentable con circuitos integrados de alto rendimiento en el mismo sustrato. En este sentido, el procesamiento adicional requerido para integrar los circuitos integrados de alto rendimiento tiende a dañar o destruir las estructuras mecánicas.
- 30 Otra técnica para la formación de la cámara que protege la estructura mecánica delicada emplea técnicas de micromaquinado. (Véanse, por ejemplo, las solicitudes de patentes publicadas internacionales Números WO 01/77008 A1 y WO 01/77009 A1). A este respecto, la estructura mecánica se encapsula en una cámara usando un óxido convencional (SiO₂) depositado o formado usando técnicas convencionales (es decir, oxidación usando técnicas de baja temperatura (LTO), tetraetoxisilano (TEOS) o similares). (Véase, por ejemplo, WO 01/77008 A1, las Figuras 2-4). Cuando se implementa esta técnica, la estructura mecánica se encapsula antes del empaque y/o la integración con los circuitos integrados.
- 35 A la vez que el empleo de un óxido convencional para encapsular las estructuras mecánicas de los MEMS puede proporcionar ventajas relativas al contenedor de metal sellado herméticamente o un sustrato semiconductor unido o similar al vidrio, un óxido convencional, depositado utilizando técnicas convencionales, a menudo exhibe alto esfuerzo de tensión en, por ejemplo, esquinas o etapas (es decir, transiciones espaciales significativas en la(s) superficie(s) subyacente(s)). Además, dicho óxido a menudo se forma o deposita de una manera que proporciona una cobertura deficiente de aquellas áreas donde la(s) superficie(s) subyacente(s) exhibe(n) transiciones espaciales significativas.
- 40 Además, un óxido convencional (depositado usando técnicas convencionales) a menudo proporciona un vacío insuficiente donde se desea un vacío como el entorno en el cual las estructuras mecánicas están encapsuladas y diseñadas para operar. Estas deficiencias pueden afectar la integridad y/o el desempeño de los MEMS.
- 45 Por otra parte, un óxido convencional, depositado utilizando técnicas convencionales, puede producir una película sobre las estructuras mecánicas durante el proceso de encapsulación. Esta película puede afectar la integridad de las estructuras mecánicas y, como tal, el rendimiento o las características operativas de los MEMS (por ejemplo, las características operativas de un resonador).
- Existen otros métodos conocidos para fabricar un dispositivo electromecánico que comprende una estructura mecánica, la cual está dispuesta en una cámara sellada.
- 50 Por ejemplo, el documento DE 100 05 555 A1 muestra un método para la fabricación de un dispositivo electromecánico, con el cual se proporciona un dispositivo parcialmente formado, que comprende un sustrato sobre el cual está dispuesta una capa de sacrificio sin cámara. En esta capa de sacrificio, hay estructuras mecánicas

dispuestas. Un área de contacto eléctrico está dispuesta dentro de la capa de sacrificio. El método de fabricación no proporciona etapas de fabricación para crear un contacto permitiendo conectar eléctricamente el dispositivo electromecánico a partir del lado opuesto al sustrato. Por lo tanto, el electromecánico fabricado tiene que estar conectado eléctricamente a partir del lado del sustrato.

- 5 El documento DE 199 61 578 A1 divulga un método para fabricar un dispositivo micromecánico, con el cual se proporciona un dispositivo parcialmente formado, que comprende un sustrato sobre el cual está dispuesta una primera capa de sacrificio. Sobre esta capa de sacrificio se dispone una estructura mecánica. Un contacto eléctrico está dispuesto dentro de la capa de sacrificio. Con este método hay dos etapas de fabricación necesarias para crear la cámara final que se sellará. En una primera etapa de construcción de la cámara, se crea una primera cámara en la primera capa de sacrificio que está dispuesta en el sustrato. En la siguiente etapa de fabricación, se coloca una segunda capa de sacrificio en el dispositivo, que también llena la cámara existente. Después de depositar una primera capa de encapsulación en el dispositivo, en una segunda etapa de construcción de la cámara se retira el material de la segunda capa de sacrificio, exponiendo la cámara final en la primera capa de sacrificio. Debido a estas dos etapas de creación de la cámara, este método es elaborado y costoso.
- 10
- 15 Existe una necesidad de métodos de fabricación MEMS (por ejemplo, giroscopios, resonadores, sensores de temperatura y/o acelerómetros) que superan uno, algunos o todos los inconvenientes de los materiales y técnicas convencionales.

Resumen de la invención

20 La presente invención es un método de fabricación de un dispositivo electromecánico de acuerdo con la reivindicación 1.

En un aspecto ventajoso de la invención, la primera capa de encapsulación es un material semiconductor que se dopa con una primera impureza para proporcionar una primera región de un primer tipo de conductividad, y la segunda capa de encapsulación se dopa con una segunda impureza para proporcionar una segunda región con un segundo tipo de conductividad. El primer tipo de conductividad está opuesto al segundo tipo de conductividad. En una realización, las capas de encapsulación primera y segunda se depositan usando un reactor epitaxial o CVD.

25

El método puede incluir también aplanar una superficie expuesta de la segunda capa de encapsulación y la eliminación de una cantidad suficiente de la segunda capa de encapsulación para de ese modo exponer la primera capa de encapsulación y proporcionar aislamiento de conexiones.

30 En una realización ventajosa, una primera porción de la primera capa de encapsulación se compone de un silicio monocristalino y una segunda porción se compone de un silicio policristalino. En esta realización, una superficie de la segunda capa de encapsulación puede estar planarizada para exponer la primera porción de la primera encapsulación. Posteriormente, puede desarrollarse un silicio monocristalino en la primera porción de la primera encapsulación.

Breve descripción de los dibujos

35 En el curso de la descripción detallada que sigue, se hará referencia a los dibujos adjuntos. Estos dibujos muestran diferentes aspectos de la presente invención y, cuando es apropiado, los números de referencia que ilustran estructuras, componentes, materiales y/o elementos similares en diferentes figuras se etiquetan de manera similar. Se entiende que se contemplan diversas combinaciones de estructuras, componentes, materiales y/o elementos, distintos de los que se muestran específicamente.

40 La Figura 1 es un diagrama de bloques del sistema microelectromecánico dispuesto en un sustrato, en conjunto con los circuitos de interfaz y la electrónica de procesamiento de datos;

la Figura 2 ilustra una vista superior de una porción de estructura micromecánica, por ejemplo, o porción de la matriz de electrodos de dedo interdigitados o en forma de panal de un acelerómetro, en conjunto con un área de contacto y regiones de campo;

45 la Figura 3 ilustra una vista en sección transversal (seccionada a lo largo de la línea punteada a-a de la Figura 2) de la porción de la matriz de electrodos de dedo interdigitados o en forma de panal y el área de contacto y regiones de campo de la Figura 2, de acuerdo con la presente invención;

las Figuras 4A-4G ilustran vistas en sección transversal de la fabricación de la microestructura de la Figura 3 en diversas etapas del proceso, de acuerdo con la presente invención;

50 las Figuras 5A-5C ilustran vistas en sección transversal de procesos de fabricación adicionales de la microestructura de la Figura 3, de acuerdo con aspectos ventajosos de la presente invención;

las Figuras 6A-6F ilustran vistas en sección transversal de la fabricación de la microestructura, de acuerdo con aspectos que no están cubiertos por la presente invención, en diversas etapas del proceso;

5 las Figuras 7A-7C ilustran, entre otras cosas, vistas en sección transversal de ilustraciones más representativas del desarrollo de estructuras de un solo cristal utilizando técnicas de deposición, desarrollo y/o formación no conforme y conforme;

las Figuras 8A-8E ilustran vistas en sección transversal de la fabricación de la microestructura en diversas etapas de un proceso de encapsulación donde la primera capa de encapsulación es un material permeable, de acuerdo con aspectos que no están cubiertos por la presente invención;

10 las Figuras 9A-9C ilustran una porción de la fabricación de la microestructura de matriz de electrodos de dedo interdigitados o en forma de panel de la Figura 2, seccionada a lo largo de la línea punteada a-a, de acuerdo con un aspecto ventajoso de la presente invención que incluye la implementación de tres o más capas de encapsulación (Figura 9A) y la interconexión de contacto (Figura 9C);

las Figuras 10A-10F ilustran vistas en sección transversal de la fabricación de la microestructura, de acuerdo con aspectos que no están cubiertos por la presente invención, en diversas etapas del proceso;

15 la Figura 11A ilustra una vista en sección transversal de una porción de una pluralidad de estructuras micromecánicas, cada una con uno o más sistemas electromecánicos, los cuales están integrados monolíticamente en o dentro del sustrato de un MEMS, de acuerdo con la presente invención;

20 las Figuras 11B-11D ilustran vistas en sección transversal de una porción de una estructura micromecánica, que tiene una pluralidad de microestructuras, las cuales están integradas monolíticamente en o dentro del sustrato de un MEMS, de acuerdo con cierto aspecto de la presente invención;

las Figuras 12A-12C ilustran vistas en sección transversal de un MEMS, de acuerdo con las presentes invenciones, que incluyen una porción de estructura mecánica micromaquinada y una porción de circuito integrado, ambas porciones de las cuales están dispuestas o integradas en un sustrato común; y

25 la Figura 13 ilustra una vista en sección transversal de una porción de una estructura micromecánica micromaquinada, que tiene una microestructura, la cual incluye una capa de la segunda capa de encapsulación depositada sobre ella.

Descripción detallada

30 La presente invención está dirigida a una técnica de fabricación o manufacturación de un dispositivo MEMS, que tiene estructuras mecánicas encapsuladas en una cámara antes del empaquetado final y/o la terminación del dispositivo. El material que encapsula las estructuras mecánicas puede incluir uno o más de los siguientes atributos: bajo esfuerzo de tensión, buena cobertura de etapas, mantener la integridad cuando se somete a un procesamiento posterior, no afecta de manera significativa y/o adversa las características de rendimiento de las estructuras mecánicas (si se recubre con el material durante su deposición, formación y/o desarrollo) dentro de la cámara, mantiene atributos de encapsulación diseñados, apropiados y/o adecuados sobre las condiciones de operación y/o tiempo, y/o facilita la integración con circuitos integrados de alto rendimiento. Las estructuras mecánicas pueden estar encapsuladas por 35 un material semiconductor, por ejemplo, silicio (por ejemplo, silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo o silicio policristalino poroso, dopado o no dopado), germanio, silicio-germanio, carburo de silicio o arseniuro de galio, o combinaciones de los mismos. Dichos materiales pueden mantener uno o más de los siguientes atributos en condiciones de operación típicas y la vida útil de los MEMS.

40 Con referencia a la Figura 1 un MEMS 10 incluye una estructura 12 mecánica micromaquinada que está dispuesta en el sustrato 14, por ejemplo, un material semiconductor sin dopar, un material similar al vidrio o un material similar al aislante. El MEMS 10 también puede incluir electrónica 16 de procesamiento de datos, para procesar y analizar la información generada por, y/o controlar o monitorizar la estructura 12 mecánica micromaquinada. Además, el MEMS 10 también puede incluir circuitos 18 de interfaz para proporcionar la información a partir de la estructura 12 mecánica micromaquinada y/o la electrónica 16 de procesamiento de datos a un dispositivo externo (no se ilustra), por ejemplo, 45 un ordenador, indicador/pantalla y/o sensor.

La electrónica 16 de procesamiento de datos y/o los circuitos 18 de interfaz pueden estar integrados en o sobre el sustrato 14. A este respecto, el MEMS 10 puede ser una estructura monolítica que incluye la estructura 12 mecánica, la electrónica 16 de procesamiento de datos y los circuitos 18 de interfaz. La electrónica 16 de procesamiento de datos y/o los circuitos 18 de interfaz también pueden residir en un sustrato separado y discreto que, después de la 50 fabricación, se une al sustrato 14.

- Con referencia a la Figura 2, la estructura 12 mecánica micromaquinada incluye estructuras 20a-d mecánicas dispuestas sobre, encima y/o en el sustrato 14. Las estructuras 20a-20d mecánicas pueden estar compuestas de, por ejemplo, materiales en la columna IV de la tabla periódica, por ejemplo silicio, germanio, carbono; también combinaciones de estos, por ejemplo germanio silicio o carburo de silicio; también de compuestos III-V, por ejemplo, fosforo de galio, fosforo de aluminio y galio u otras combinaciones de III-V; también combinaciones de materiales III, IV, V o VI, por ejemplo nitruro de silicio, óxido de silicio, carburo de aluminio u óxido de aluminio; también siliciuros metálicos, germanuros y carburos, por ejemplo, siliciuro de níquel, siliciuro de cobalto, carburo de tungsteno o siliciuro de platino y germanio; también variaciones dopadas que incluyen fósforo, arsénico, antimonio, boro o silicio o germanio dopado con aluminio, carbono o combinaciones como silicio germanio; también estos materiales con diversas estructuras cristalinas, que incluyen cristalina, policristalina, nanocristalina o amorfa; también con combinaciones de estructuras cristalinas, por ejemplo, con regiones de estructura monocristalina y policristalina (dopadas o no dopadas).
- Por otra parte, la estructura 12 mecánica micromaquinada puede ser un acelerómetro, giroscopio u otro transductor (por ejemplo, sensor de presión, sensor de tensión, sensor táctil, sensor magnético y/o sensor de temperatura), o resonador. La estructura 12 mecánica micromaquinada también puede incluir estructuras mecánicas de una pluralidad de transductores o sensores que incluyen uno o más acelerómetros, giroscopios, sensores de presión, sensores táctiles y sensores de temperatura. Cuando la estructura 12 mecánica micromaquinada es un acelerómetro, las estructuras 20a-d mecánicas pueden ser una porción de la matriz de electrodos de dedo interdigitados o en forma de panal que comprenden las características de detección del acelerómetro (véase, por ejemplo, la patente de los Estados Unidos Número 6,122,964).
- Con referencia continuada a la Figura 2, las regiones 22a y 22b de campo y el área 24 de contacto también están dispuestas sobre o en el sustrato 14. Las regiones 22 de campo pueden proporcionar un material de sustrato para los componentes electrónicos o eléctricos o circuitos integrados (por ejemplo, transistores, resistencias, condensadores, inductores y otros elementos pasivos o activos) de la electrónica 16 de procesamiento de datos y/o los circuitos 18 de interfaz. El área 24 de contacto puede proporcionar una ruta eléctrica entre la estructura 12 mecánica micromaquinada y la electrónica 16 de procesamiento de datos, los circuitos 18 de interfaz y/o un dispositivo externo (no se ilustra). Las regiones 22 de campo y el área 24 de contacto pueden estar compuestas, por ejemplo, de silicio (dopado o no dopado), germanio, silicio/germanio, carburo de silicio y arseniuro de galio.
- La Figura 3 ilustra una vista en sección transversal de la estructura 12 mecánica micromaquinada, que incluye las estructuras 20a-d mecánicas, a lo largo de la línea punteada a-a', de acuerdo con la presente invención. Las estructuras 20a-d mecánicas están dispuestas dentro de la cámara 26. La cámara 26 está sellada o encapsulada a través de las capas 28a y 28b de encapsulación.
- Las capas 28a y 28b de encapsulación se componen de un semiconductor. Las capas 28a y 28b de encapsulación pueden contener silicio (por ejemplo, silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo o silicio policristalino poroso, dopado o sin dopar), germanio, silicio/germanio, carburo de silicio y arseniuro de galio (y combinaciones de los mismos). Las capas 28a y 28b de encapsulación pueden ser los mismos materiales o diferentes materiales.
- Las capas 28a y 28b de encapsulación pueden estar depositadas, formadas y/o desarrolladas usando las mismas o diferentes técnicas. Por ejemplo, la capa 28a de encapsulación puede ser un silicio policristalino depositado usando un proceso de baja presión ("LP") depositado químicamente por vapor ("CVD") (en un tubo o reactor EPI) o un proceso de CVD mejorado con plasma ("PE") y la capa 28b de encapsulación puede ser un silicio policristalino dopado depositado usando un proceso CVD a presión atmosférica ("AP"). Alternativamente, por ejemplo, la capa 28a de encapsulación puede ser un germanio de silicio depositado usando un proceso LPCVD y la capa 28b de encapsulación puede ser silicio policristalino dopado depositado usando un proceso PECVD. De hecho, todos los materiales semiconductivos y las técnicas de deposición, y sus permutaciones, son para encapsular la cámara 26.
- Se debe observar que las estructuras mecánicas de uno o más transductores o sensores (por ejemplo, acelerómetros, giroscopios, sensores de presión, sensores táctiles y/o sensores de temperatura) pueden estar contenidos o residir en una sola cámara y se expusieron a un ambiente dentro de esa cámara. Bajo esta circunstancia, el entorno contenido en la cámara 26 proporciona una amortiguación mecánica para las estructuras mecánicas de una o más estructuras mecánicas micromaquinadas (por ejemplo, un acelerómetro, un sensor de presión, un sensor táctil y/o un sensor de temperatura).
- Por otra parte, las estructuras mecánicas de los uno o más transductores o sensores pueden a su vez incluir múltiples capas que están apiladas o interconectadas vertical y/o lateralmente. (Véase, por ejemplo, la estructura 12b mecánica micromaquinada de la Figura 11A; la estructura 12 mecánica de las Figuras 11B y 11C; y las estructuras 20a y 20b mecánicas, las áreas 24a y 24b de contacto, y los contactos 24' y 24" ocultos de la Figura 11D). Por lo tanto, bajo esta circunstancia, las estructuras mecánicas se fabrican utilizando una o más etapas de procesamiento para proporcionar las capas múltiples apiladas y/o interconectadas vertical y/o lateralmente.

5 Con referencia a las Figuras 4A y 4B, un método de ejemplo de fabricación o manufactura de una estructura 12
 mecánica micromaquinada comienza con un dispositivo parcialmente formado que incluye las estructuras 20a-d
 mecánicas y el área 24 de contacto dispuesta en la primera capa 30 de sacrificio, por ejemplo, dióxido de silicio o
 nitruro de silicio. Las estructuras 20a-d mecánicas y el área 24 de contacto pueden formarse usando técnicas de
 10 deposición, litográficas, de grabado y/o dopaje bien conocidas, así como a partir de materiales bien conocidos (por
 ejemplo, semiconductores tales como silicio, germanio, silicio-germanio o arseniuro de galio). Además, las regiones
 22a y 22b de campo y la primera capa 30 de sacrificio pueden formarse usando técnicas de fabricación de silicio sobre
 aislante bien conocidas (Figura 4A) o técnicas de formación, litográficas, de grabado y/o deposición bien conocidas
 usando un estándar u oblea sobredimensionada ("gruesa") (Figura 4B). En particular, las regiones 22a y 22b de campo,
 15 las estructuras 20 mecánicas y el área 24 de contacto pueden estar formadas por estructuras individuales o
 monocristalinas (por ejemplo, silicio monocristalino) como se ilustra en la Figura 4A, estructuras policristalinas, o
 ambas estructuras monocristalinas y policristalinas como se ilustra en la Figura 4B (es decir, las regiones 22a y 22b
 de campo están compuestas de estructuras individuales o monocristalinas, por ejemplo, silicio monocristalino, y las
 estructuras 20 mecánicas y el área 24 de contacto pueden estar formadas por estructuras policristalinas, por ejemplo,
 silicio policristalino. De hecho, todas las técnicas, materiales y estructuras de cristal para crear un dispositivo
 parcialmente formado incluyen estructuras 20a-d mecánicas y área 24 de contacto dispuesta en la primera capa 30
 de sacrificio.

20 Con referencia a la Figura 4C, después de la formación de las estructuras 20a-d mecánicas y el área 24 de contacto,
 una segunda capa 32 de sacrificio, por ejemplo, dióxido de silicio o nitruro de silicio, se deposita para asegurar, separar
 y/o proteger las estructuras 20a-d mecánicas durante el procesamiento posterior, que incluye el proceso de
 encapsulación. Además, se forma una abertura 34 en una segunda capa 32 de sacrificio para proporcionar la formación
 posterior de un contacto eléctrico. La abertura 34 se proporciona usando, por ejemplo, técnicas litográficas y de
 grabado bien conocidas después de la deposición de la segunda capa 32 de sacrificio.

25 Con referencia a las Figuras 4D, 4E y 4F, a partir de entonces, la primera capa 28a de encapsulación se deposita
 sobre la segunda capa 32 de sacrificio (véase la Figura 4D). Ventajosamente, el grosor de la primera capa 28a de
 encapsulación en la región que recubre la segunda capa 32 de sacrificio puede estar entre 1 μm y 25 μm . El estrés
 ambiental externo y el estrés interno de la primera capa 28a de encapsulación después de grabar la segunda capa 32
 de sacrificio pueden afectar el grosor de la primera capa 28a de encapsulación. Las películas de tensión ligera pueden
 sostenerse mejor que las películas compresivas las cuales pueden doblarse.

30 La primera capa 28a de encapsulación está grabada para formar pasajes o ventilaciones 36 (véase, la Figura 4E).
 Ventajosamente, las ventilaciones tienen un diámetro o tamaño de abertura de entre 0.1 μm y 2 μm .

35 Las ventilaciones 36 están destinadas a permitir el grabado y/o eliminación de al menos porciones seleccionadas de
 la primera y segunda capas 30 y 32 de sacrificio, respectivamente (véase, la Figura 4F). Por ejemplo, en una
 realización ventajosa, donde la primera y la segunda capas 30 y 32 de sacrificio están compuestas de dióxido de
 silicio, las porciones seleccionadas de las capas 30 y 32 pueden eliminarse/grabarse usando técnicas de grabado en
 húmedo bien conocidas y mezclas de HF tamponadas (es decir, un tampón grabado con óxido) o técnicas bien
 conocidas de grabado con vapor que utilizan vapor HF. El diseño adecuado de las estructuras 20a-d mecánicas y las
 capas 30 y 32 de sacrificio, y el control de los parámetros del proceso de grabado de HF pueden permitir que la capa
 30 de sacrificio se grabe suficientemente para eliminar toda o sustancialmente toda la capa 30 alrededor de los
 40 elementos 20a-d mecánicos y, por lo tanto, liberar los elementos 20a-d para permitir la operación adecuada del MEMS
 10.

45 En otra realización ventajosa, donde la primera y segunda capas 30 y 32 de sacrificio están compuestas de nitruro de
 silicio, las porciones de las capas 30 y 32 seleccionadas pueden eliminarse/grabarse usando ácido fosfórico.
 Nuevamente, el diseño adecuado de las estructuras 20a-d mecánicas y las capas 30 y 32 de sacrificio, y el control de
 los parámetros del proceso de grabado húmedo pueden permitir que la capa 30 de sacrificio se grabe suficientemente
 para eliminar toda o sustancialmente toda la capa 30 de sacrificio alrededor de los elementos 20a-d mecánicos lo cual
 liberará los elementos 20a-d mecánicos.

50 Cabe señalar que hay: (1) diversos materiales adecuados para las capas 30 y/o 32 (por ejemplo, dióxido de silicio,
 nitruro de silicio, y materiales similares al vidrio dopados y sin dopar, por ejemplo, fosfosilicato ("PSG") o
 borofosfosilicato ("BPSG")) y centrifugado sobre vidrio ("SOG"), (2) diversos grabadores adecuados/asociados (por
 ejemplo, un grabado de óxido tamponado, ácido fosfórico e hidróxidos alcalinos tales como, por ejemplo, NaOH y
 KOH), y (3) diversas técnicas adecuadas de grabado o eliminación (por ejemplo, grabado en húmedo, plasma, vapor
 o seco), para eliminar, remover y/o grabar las capas 30 y/o 32 de sacrificio. De hecho, las capas 30 y/o 32 pueden ser
 un semiconductor dopado o sin dopar (por ejemplo, silicio policristalino, silicio/germanio o germanio) en aquellos casos
 55 en donde las estructuras 20a-d mecánicas y el área 24 de contacto son semiconductores iguales o similares (es decir,
 procesados, grabados o eliminados de manera similar) para que las estructuras 20a-d mecánicas y el área 24 de

5 contacto no se vean afectadas negativamente por el grabado o los procesos de eliminación (por ejemplo, donde las estructuras 20a-d y el área 24 están “protegidas” durante el proceso de grabado o eliminación (por ejemplo, una capa de óxido que protege las estructuras 20a-d con base en silicio) o donde las estructuras 20a-d y el área 24 de contacto están compuestas de un material que se ve afectado negativamente por el proceso de grabado o eliminación de las capas 30 y/o 32). Por consiguiente, todos los materiales, grabadores y técnicas de grabado y permutaciones de los mismos, son para eliminar, remover y/o grabar.

10 Además de formar las ventilaciones 36, el proceso de grabado de la primera capa 28a de encapsulación también forma la vía 38 de contacto (véase, la Figura 4F) para facilitar la continuidad eléctrica a partir del área 24 de contacto eléctrico a un nivel a o por encima de primera capa 28a de encapsulación. De esta manera, se puede impedir, eliminar y/o minimizar el procesamiento adicional, por ejemplo, el procesamiento relacionado con la eliminación de la porción de la primera capa 28a de encapsulación que recubre el área 24 de contacto eléctrico y la deposición, formación y/o desarrollo de un material adecuado (para proporcionar un contacto eléctrico adecuado entre las diversas capas de MEMS 10, por ejemplo, silicio monocristalino). De hecho, la resistividad o conductividad de la vía 38 de contacto puede ajustarse (por ejemplo, resistividad reducida y/o conductividad mejorada) usando técnicas de implantación de impurezas bien conocidas.

15 Además, el contacto 24 puede permanecer parcial, sustancial o totalmente rodeado por la primera y segunda capas 30 y/o 32 de sacrificio. Por ejemplo, con referencia a la Figura 4F, a la vez que las estructuras 20a-d mecánicas se liberan de sus respectivas columnas de óxido subyacentes, una columna 40 de la capa 30 de sacrificio debajo o subyacente del área 24 de contacto eléctrico puede proporcionar soporte físico adicional, así como aislamiento eléctrico para el área 24 de contacto eléctrico.

20 Con referencia a la Figura 4G, después de liberar los elementos 20a-d mecánicos, se deposita una segunda capa 28b de encapsulación. La segunda capa 28b de encapsulación puede ser, por ejemplo, un material a base de silicio (por ejemplo, un silicio policristalino o silicio-germanio), el cual se deposita utilizando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). La deposición, formación y/o desarrollo pueden ser por un proceso conforme o no conforme. El material puede ser igual o diferente de la primera capa 28a de encapsulación. Sin embargo, puede ser ventajoso emplear el mismo material para formar la primera y segunda capas 28a y 28b de encapsulación. De esta manera, por ejemplo, las tasas de expansión térmica son las mismas y los límites entre las capas 28a y 28b pueden mejorar el “sello” de la cámara 26.

25 Ventajosamente, la segunda capa 28b de encapsulación se puede depositar epitaxialmente usando un reactor de epitaxia y condiciones similares al desarrollo de silicio epitaxial selectivo convencional. Esto puede ser en un proceso de silano, diclorosilano, o triclorosilano con gases de H₂, y/o de HCl. Estos procesos pueden ejecutarse típicamente de 600°C a 1400°C.

30 Ventajosamente, el espesor de la segunda capa 28b de encapsulación en la región que recubre la segunda primera capas de encapsulación y los elementos 20a-d puede ser de entre 1 μm y 10 μm. De hecho, a medida que se implementa el MEMS 10, que incluye la estructura 12 mecánica, la escala a lo largo del tiempo y diversos y/o diferentes materiales, es probable que cambien los espesores adecuados o necesarios de la primera capa 28a de encapsulación, la segunda capa 28b de encapsulación y su combinación. Como tal, puede ser ventajosa una relación de aproximadamente 1:1 a 1:10 entre los espesores de la primera capa 28a de encapsulación y la segunda capa 28b de encapsulación. Sin embargo, se observa que otras relaciones y espesores son claramente adecuados (véanse, por ejemplo, las Figuras 7A, 7B y 8A-E).

35 La segunda capa 28b de encapsulación puede doparse con impurezas que tienen una conductividad opuesta con respecto a las impurezas en la primera capa 28a de encapsulación. Por ejemplo, la primera capa 28a de encapsulación se puede dopar con boro y la segunda capa 28b de encapsulación se puede dopar con fósforo. De esta manera, al finalizar el proceso de sellado o encapsulación, se forman uniones que rodean el área 24 de contacto eléctrico las cuales “aislan” eléctricamente el área 24 de contacto de, por ejemplo, la región 22b de campo.

40 Hay que señalar que las porciones de la segunda capa 28b de encapsulación que están dispuestas cerca de, al lado de y/o alrededor del área 24 de contacto también pueden ser sometidas a implantación iónica después de la deposición, la formación y/o el desarrollo. De esa manera, puede aumentarse o mejorarse el “aislamiento” eléctrico. En aquellos casos donde la segunda capa 28b de encapsulación se deposita y/o se forma sin dopantes de impurezas, la implantación iónica puede proporcionar el aislamiento eléctrico primario, total o sustancial, entre el área 24 de contacto y, por ejemplo, la región 22b de campo. De hecho, en aquellos casos donde la segunda capa 28b de encapsulación se extiende sobre o entre las regiones de campo (proporcionando así una conexión eléctrica entre ellas), la implantación iónica de porciones de la segunda capa 28b de encapsulación (ya sea dopaje o contra-dopaje de una segunda capa 28b de encapsulación dopada) que está dispuesta cerca, al lado y/o alrededor del área 24 de contacto, puede proporcionar todo o sustancialmente todo el aislamiento eléctrico entre el área 24 de contacto y, por ejemplo, la región 22b de campo.

- 5 Con referencia a la Figura 5A, como medida ventajosa, la estructura 12 mecánica micromaquinada puede planificarse sustancialmente utilizando, por ejemplo, técnicas de pulido (por ejemplo, pulido mecánico químico ("CMP")). A este respecto, cuando la segunda capa 28b de encapsulación se deposita, forma y/o desarrolla a un nivel que excede la primera capa 28a de encapsulación (véase, por ejemplo, la Figura 4G), el proceso de planarización elimina una porción de la segunda capa 28b de encapsulación para proporcionar una capa superficial "lisa" y/o una superficie (sustancialmente) plana. Puede ser ventajoso eliminar una cantidad suficiente de la segunda capa 28b de encapsulación de modo que la vía 38 de contacto esté aislada eléctricamente por la capa 28b semiconductiva dopada opuesta (véase la Figura 5A) con respecto a la primera capa 28a de encapsulación. Esta superficie plana expuesta puede proporcionar además una base bien preparada (en, por ejemplo, las regiones 22 de campo) sobre la cual los circuitos integrados (por ejemplo, transistores CMOS) y/o la estructura 12 mecánica micromaquinada pueden fabricarse en o utilizando técnicas y equipamiento de fabricación bien conocidas.
- 10 Para facilitar la integración de circuitos integrados de alto rendimiento en MEMS 10, puede ser ventajoso incluir regiones 22a y/o 22b de campo que están compuestas de silicio monocristalino en o sobre las cuales dichos circuitos pueden ser fabricados. A este respecto, con referencia a la Figura 5B, una porción de la primera capa de encapsulación (es decir, 22a₂ y 22b₂) que recubre las regiones 22a₁ y/o 22b₁ de campo puede recrystalizarse, "convirtiendo" o reorganizando la estructura cristalina del material policristalino a la de un material monocristalino o sustancialmente monocristalino. De esta manera, los transistores u otros componentes de, por ejemplo, la electrónica 16 de procesamiento de datos, que están integrados en el MEMS 10, pueden fabricarse en regiones de campo monocristalino.
- 15 En otra forma de realización ventajosa, la porción de las regiones 22a₁ y/o 22b₁ de campo superpuestas de la primera capa 28a de encapsulación pueden ser eliminadas, usando técnicas de grabado convencionales, para exponer las regiones 22a₁ y/o 22b₁. Posteriormente, el silicio monocristalino puede desarrollarse en las regiones 22a₁ y/o 22b₁ de campo para proporcionar de ese modo las regiones 22a₂ y/o 22b₂ de campo.
- 20 En aún otra forma de realización ventajosa, la porción de las regiones 22a₁ y/o 22b₁ de campo superpuestas de la primera capa 28a de encapsulación pueden ser grabadas para exponer las regiones 22a₁ y/o 22b₁ de campo, que se componen de silicio monocristalino. Posteriormente, los transistores u otros componentes activos pueden integrarse en o sobre las regiones 22a y/o 22b de campo usando técnicas de fabricación bien conocidas.
- 25 Con referencia a las Figuras 6A-F, en otro conjunto de realizaciones, que no están cubiertas por la invención, las regiones 22a₂ y 22b₂ de campo monocristalino pueden desarrollarse antes, de manera concurrente (simultáneamente) o poco después de la deposición, formación y/o desarrollo de la primera capa 28a de encapsulación. Por ejemplo, con referencia a la Figura 6A, antes o después de la deposición o la formación de la segunda capa 32 de sacrificio, una capa de encapsulación depositada epitaxialmente de las regiones 22a₂ y 22b₂ de campo de silicio monocristalino puede desarrollarse hasta un nivel que está por encima o excede la segunda capa 32 de sacrificio. Alternativamente, las regiones 22a₂ y 22b₂ de campo de silicio monocristalino no se desarrollan a un nivel que está por encima o excede la segunda capa 32 de sacrificio (no se ilustra).
- 30 Con referencia a la Figura 6B, en una realización, después de desarrollar las regiones 22a₂ y 22b₂ de campo de silicio monocristalino (y el área 24 de contacto), la primera capa 28a de encapsulación puede depositarse, formarse y/o desarrollarse. La primera capa 28a de encapsulación puede ser, por ejemplo, un material a base de silicio (por ejemplo, silicio/germanio, carburo de silicio, silicio monocristalino, silicio policristalino o silicio amorfo, dopado o sin dopar), germanio y arseniuro de galio (y combinaciones de los mismos, que se depositan y/o forman usando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). La deposición, formación y/o desarrollo puede ser por un proceso conforme o proceso no conforme. El material puede ser el mismo o diferente de las primeras regiones 22a₂ y 22b₂ de campo de silicio monocristalino. En la realización que se ilustra, la primera capa 28a de encapsulación está compuesta de un material de silicio policristalino.
- 35 El posterior procesamiento de la estructura 12 mecánica micromaquinada es sustancialmente similar al que se describe anteriormente con respecto a las Figuras 4E-4G. Como tal, la discusión anterior con respecto a la estructura 12 mecánica micromaquinada, junto con las Figuras 4E-4G, es completa, total y completamente aplicable a este conjunto de realizaciones. En aras de la brevedad, esa descripción no se repetirá, sino que se resumirá.
- 40 Brevemente, la primera capa 28a de encapsulación puede ser grabada (véase, la Figura 6C) para formar pasajes o ventilaciones 36 que están destinadas a permitir el grabado y/o la eliminación de al menos porciones seleccionadas de la primera y segunda capas 30 y 32 de sacrificio, respectivamente (véase la Figura 6D). Nuevamente, el diseño adecuado de las estructuras 20a-d mecánicas y las capas 30 y 32 de sacrificio, y el control de los parámetros del proceso de grabado pueden permitir que la capa 30 de sacrificio se grabe suficientemente para eliminar toda o sustancialmente toda la capa 30 alrededor de los elementos 20a-d mecánicos y liberando de ese modo los elementos 20a-d mecánicos para permitir la operación adecuada del MEMS 10 (véase, la Figura 6D).
- 45
- 50
- 55

Después de liberar los elementos 20a-d mecánicos, la segunda capa 28b de encapsulación puede estar depositada, formada y/o desarrollada (véase, la Figura 6E). La segunda capa 28b de encapsulación puede ser, por ejemplo, un material a base de silicio (por ejemplo, un silicio monocristalino, silicio policristalino y/o silicio-germanio), el cual se deposita utilizando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). La deposición, formación y/o desarrollo puede ser por un proceso conforme o no conforme. El material puede ser igual o diferente de la primera capa 28a de encapsulación. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, puede ser ventajoso emplear el mismo material para formar la primera y segunda capas 28a y 28b de encapsulación para mejorar el "sello" de la cámara 26.

Hay que señalar que los materiales y/o superficies subyacentes de la segunda capa 28b de encapsulación, así como las técnicas empleadas para la deposición, formación y/o el desarrollo de la primera y segunda capa 28b de encapsulación, pueden inicialmente determinar la estructura cristalina del material subyacente. Por ejemplo, en un entorno epitaxial que tiene un conjunto predeterminado de parámetros, la estructura única/monocristalina de las capas 28a y/o 28b de encapsulación puede depositarse, formarse y/o desarrollarse de manera "aislada" (véase la Figura 7A). Por el contrario, con otro conjunto predeterminado de parámetros, la estructura única/monocristalina de las capas 28a y/o 28b de encapsulación puede depositarse, formarse y/o desarrollarse de manera "avanzada" (véase la Figura 7B). Las estructuras y elementos de este documento pueden depositarse, formarse y/o desarrollarse de esta u otras formas. En consecuencia, la estructura única/monocristalina (por ejemplo, región 22a₂ de campo) que se deposita, forma y/o se desarrolla sobre un material que tiene estructura única/monocristalina (por ejemplo, la región 22a₁ de campo) se ilustra esquemáticamente como deposición, formación y/o desarrollo en la dirección perpendicular (véase, por ejemplo, la Figura 7C) independientemente de la manera o los procesos empleados.

Hay que señalar además que el material que comprende la segunda capa 28b encapsulación puede depositarse, formarse o desarrollarse sobre superficies en la cámara 26 (por ejemplo, las superficies de las estructuras 20a-d mecánicas) en la medida que se sella o se encapsula la cámara. Al depositar, formar y/o desarrollar la segunda capa 28b de encapsulación, puede ser necesario tener cuidado para preservar la integridad deseada de las estructuras y/o superficies dentro de la cámara 26 (véase, por ejemplo, la Figura 13).

Como se mencionó anteriormente, en ciertas realizaciones, la segunda capa 28b de encapsulación se dopa con impurezas que tienen una conductividad opuesta con respecto a las impurezas en la primera capa 28a de encapsulación. De esta manera, al finalizar el proceso de sellado o encapsulación, se forman uniones que rodean el área 24 de contacto eléctrico las cuales "aislan" eléctricamente el área 24 de contacto de, por ejemplo, la región 22b de campo.

Además, como se mencionó anteriormente, en otro conjunto de realizaciones, donde la segunda capa 28b de encapsulación se deposita, forma y/o se desarrolla a un nivel que excede la primera capa 28a de encapsulación, puede ser ventajoso planarizar sustancialmente la superficie expuesta utilizando, por ejemplo, técnicas de pulido (por ejemplo, CMP). El proceso de planarización elimina una porción de la segunda capa 28b de encapsulación para proporcionar una capa superficial "lisa" y/o una superficie (sustancialmente) plana. De hecho, el proceso de planarización puede eliminar una porción suficiente de la segunda capa 28b de encapsulación de modo que la vía 38 de contacto esté aislada eléctricamente por un anillo de la capa 28b semiconductiva dopada de manera opuesta (véase, la Figura 6F). Nuevamente, como se mencionó anteriormente, esta superficie plana expuesta puede proporcionar además una base bien preparada sobre la cual los circuitos integrados (por ejemplo, transistores CMOS) y/o la estructura 12 mecánica micromaquinada pueden fabricarse sobre o utilizando técnicas y equipos de fabricación bien conocidos.

Como se ilustra, la región 22b₂ de campo de silicio monocristalino se desarrolla sobre y por encima del área 24 de contacto. En otra realización, la región 22b₂ de campo no se desarrolla en o sobre el área 24 de contacto. En esta realización, la vía 38 de contacto se compone principalmente de silicio policristalino en lugar de silicio monocristalino. Además, como se describió anteriormente, la vía 38 de contacto puede doparse con impurezas para mejorar la conductividad del material que comprende la vía 38 de contacto.

Con referencia a las Figuras 8A-E, en otro conjunto de realizaciones, que no están cubiertas por la invención, la primera capa 28a de encapsulación puede ser un material permeable o semipermeable (por ejemplo, un silicio amorfo pulverizado o CVD poroso y/o silicio policristalino depositado epitaxial). En este conjunto de realizaciones, el proceso de grabado o eliminación de las capas 30 y 32 puede realizarse a través del material permeable o semipermeable que comprende la capa 28a. Posteriormente, al depositar, formar y/o desarrollar la segunda capa 28b de encapsulación (por ejemplo, silicio policristalino) en la primera capa 28a de encapsulación, el material puede migrar a, llenar y/u ocupar los poros de la primera capa 28a de encapsulación. Bajo esta circunstancia, se puede depositar relativamente poco material sobre las superficies de las estructuras dentro de la cámara 26 durante la deposición, formación y/o desarrollo de la segunda capa 28b de encapsulación. Como tal, la cámara 26 puede "sellarse" o encapsularse hacia

las superficies superiores de la primera capa 28a de encapsulación (es decir, la superficie que se expone primero al proceso de deposición, formación y/o desarrollo, véase, por ejemplo, la Figura 8D).

5 Por ejemplo, cuando el material permeable o semipermeable es un silicio pulverizado amorfo o silicio policristalino depositado CVD poroso, que tiene un espesor de entre 0.1 μm y 2 μm . Después del grabado y/o eliminación de las capas 30 y 32, la segunda capa 28b de encapsulación puede tener un espesor de entre 5 μm y 25 μm .

10 Con referencia a la Figura 8C, el material compuesto por la primera capa 28a de encapsulación también puede densificarse y por lo tanto "cerrarse" y la cámara 26 "sellarse" usando un proceso de recocido. Es decir, en esta realización, el tratamiento térmico de la estructura 12 mecánica micromaquinada, después de grabar la primera y segunda capas 30 y 32 de sacrificio, puede hacer que el material de la capa 28a se densifique, sellando o encapsulando la cámara 26. Como tal, una segunda capa 28b de encapsulación puede no ser necesaria para sellar inicialmente la cámara 26.

15 Con referencia a la Figura 8E, el proceso de encapsulación de la cámara 26 puede incluir tres o más capas de encapsulación. La segunda capa 28b de encapsulación y la tercera capa 28C de encapsulación (o capas posteriores/adicionales) pueden depositarse, formarse y/o desarrollarse para sellar la cámara 26. En particular, la segunda capa 28b de encapsulación puede ser, por ejemplo, un material semiconductor (por ejemplo, silicio, carburo de silicio, silicio-germanio o germanio) o material que contenga metal (por ejemplo, siliciuros o TiW), el cual se deposita utilizando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). La deposición, formación y/o desarrollo puede ser por un proceso conforme o no conforme. El material que comprende la capa 28b de encapsulación puede ser igual o diferente de la primera capa 28a de encapsulación.

20 En lo sucesivo, la tercera capa 28c de encapsulación puede depositarse, formarse y/o desarrollarse (véase, la Figura 8E). La tercera capa 28C de encapsulación puede "sellar" o cerrar, o "sellar" más completamente o cerrar la cámara 26. La deposición, formación y/o desarrollo de la tercera capa 28C de encapsulación puede ser la misma, sustancialmente similar o diferente de esa de las capas 28a y/o 28b de encapsulación. A este respecto, la tercera capa 28C de encapsulación puede estar compuesta, por ejemplo, de un material semiconductor, un material aislante (por ejemplo, nitruro de silicio u óxido de silicio), plástico (por ejemplo, fotorresistencia o dieléctrico de bajo K) o material con contenido de metal. La tercera capa 28c de encapsulación puede depositarse y/o formarse usando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). El proceso de deposición, formación y/o desarrollo puede ser conforme o no conforme.

30 Hay que señalar que las técnicas descritas anteriormente para facilitar la integración de circuitos integrados de alto rendimiento en MEMS 10, pueden implementarse con la realización que se ilustra en las Figuras 8A-8E. A este respecto, puede ser ventajoso incluir la región 22a de campo que está compuesta de silicio monocristalino en o sobre el cual se pueden fabricar dichos circuitos. En una realización, una porción de la primera capa de encapsulación que recubre la región 22a de campo puede recristalizarse de ese modo "convirtiendo" o reorganizando la estructura cristalina del silicio amorfo pulverizado o CVD poroso y/o del silicio policristalino depositado epitaxial al de un material monocristalino o sustancialmente monocristalino. De esta manera, los transistores u otros componentes de, por ejemplo, la electrónica 16 de procesamiento de datos, que están integrados en el MEMS 10 pueden fabricarse en las regiones 22a y/o 22b de campo monocristalino.

40 En otra realización, se puede eliminar la porción de la primera capa 28a de encapsulación (y/o la segunda capa 28b de encapsulación) que recubre la región 22a de campo, usando técnicas de grabado convencionales, para exponer la región 22a de campo. Posteriormente, el silicio monocristalino puede desarrollarse en la región 22a de campo. Alternativamente, la porción de la primera capa 28a de encapsulación (y la segunda capa 28b de encapsulación) que recubre la región 22a de campo puede grabarse para exponer el material de cristal único y, a continuación, los transistores u otros componentes activos pueden integrarse en o sobre la región 22a de campo usando técnicas de fabricación bien conocidas.

45 Hay que señalar además que la capa 28c de encapsulación (véase, por ejemplo, la Figura 8E y la Figura 9A) puede depositarse, formarse y/o desarrollarse hasta, por ejemplo, proporcionar una superficie más plana, una capa de detención del grabado para el procesamiento posterior, una capa de aislamiento, un plano de tierra, un plano de potencia y/o mejorar el "sello" de la cámara 26 y, de este modo, mejorar la barrera a la difusión del fluido 42. Por ejemplo, con referencia a las Figuras 9A-C, la capa 28c puede ser una capa de aislamiento la cual, además (o en su lugar) facilita la interconexión adecuada con el área 24 de contacto y la vía 38 o el tapón de contacto (por ejemplo, usando una capa de metal o polisilicio altamente dopado). Posteriormente (o actualmente con), la capa 28c se modela para proporcionar la abertura 44 de contacto (Figura 9B). Un material altamente conductor (baja resistencia eléctrica) (por ejemplo, un semiconductor fuertemente dopado y/o un metal tal como el aluminio, cromo, oro, plata, molibdeno, platino, paladio, tungsteno, titanio y/o cobre) se deposita entonces para facilitar la interconexión (Figura 9C).

50

Cabe señalar que la deposición, la formación y/o el desarrollo de la capa 28c de aislamiento y la capa 46 pueden ser dos de la etapa del procedimiento final en el “fondo” de la fabricación de circuitos integrados del MEMS 10. En este sentido, dicho procesamiento se “combina” con la etapa de aislamiento y formación de contacto del “fondo” de la fabricación de circuitos integrados del MEMS 10. De esta manera, pueden reducirse los costes de fabricación.

5 Dependiendo del propósito o función de la capa 28c de encapsulación, puede ser, por ejemplo, un material semiconductor (por ejemplo, un silicio policristalino, silicio carburo, silicio/germanio o germanio), un material aislante (por ejemplo, dióxido de silicio, nitruro de silicio, BPSG, PSG o SOG) o material con contenido de metal (por ejemplo, siliciuros). La capa 28c de encapsulación puede, por ejemplo, depositarse, formarse o desarrollarse usando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). La deposición, formación y/o desarrollo puede ser por un proceso conforme o no conforme. El material que comprende la capa 28c de encapsulación puede ser igual o diferente de las otras capas de encapsulación.

10 En otro conjunto de realizaciones, la segunda capa 28b de encapsulación puede estar compuesta de metal de (por ejemplo, aluminio, cromo, oro, plata, molibdeno, platino, paladio, tungsteno, titanio, y/o cobre), óxido de metal (por ejemplo, óxido de aluminio, óxido de tantalio y/u óxido de indio), aleación de metal (por ejemplo, nitruro de titanio, titanio-tungsteno y/o Al-Si-Cu) y/o compuestos de metal-silicio (por ejemplo, siliciuros tales como siliciuro de tungsteno, siliciuro de titanio y/o siliciuro de níquel) (en adelante denominados colectivamente “material(es) que contiene(n) metal”) depositados y/o formados utilizando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). En este conjunto de realizaciones, la primera capa 28a de encapsulación puede estar compuesta de material con contenido de metal, material semiconductor o material aislante depositado y/o formado usando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD).

15 Por ejemplo, con referencia a la Figura 10A, después de la formación de la porción de circuito integrado del MEMS 10 (si existe), la primera capa 28a de encapsulación se deposita, desarrolla y/o se forma en la segunda capa 32 de sacrificio (véase, la Figura 10A) a la vez que se seleccionan porciones de la región 22 de campo y el área 24 de contacto está protegida mediante una máscara o re-expuesta mediante grabado. La primera capa 28a de encapsulación puede ser, por ejemplo, un material aislante (por ejemplo, un nitruro de silicio, dióxido de silicio, PSG o BPSG), el cual se deposita utilizando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). La deposición, formación y/o desarrollo puede ser por un proceso conforme o no conforme. De hecho, la deposición, formación y/o desarrollo de la primera capa 28a de encapsulación puede ser una etapa del proceso en el “fondo” de la fabricación de circuitos integrados del MEMS 10.

20 A partir de entonces, la primera capa 28a de encapsulación puede ser grabada para formar pasajes o ventilaciones 36 (véase, la Figura 10B). Al menos porciones seleccionadas de la primera y segunda capas 30 y 32 de sacrificio, respectivamente (véase la Figura 10C) las cuales liberan elementos 20a-d mecánicos para permitir el funcionamiento adecuado del MEMS 10.

25 Después de liberar los elementos 20a-d mecánicos, la segunda capa 28b de encapsulación puede depositarse, formarse y/o desarrollarse (véase, la Figura 10D). En esta realización, la segunda capa 28b de encapsulación es un material que contiene metal que se deposita usando, por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD). La deposición y/o formación puede ser por un proceso conforme o un proceso no conforme. La deposición, formación y/o desarrollo de la segunda capa 28b de encapsulación también se puede “combinar” con la etapa de formación de contacto del “fondo” de la fabricación de circuitos integrados del MEMS 10. De esta manera, pueden reducirse los costes de fabricación.

30 A partir de entonces, puede ser ventajoso “aislar” eléctricamente el área 24 de contacto de, por ejemplo, la región 22 de campo. En una realización, esto se logra utilizando una técnica de planarización. A este respecto, la superficie expuesta de la segunda capa 28b de encapsulación está sustancialmente planarizada usando, por ejemplo, técnicas de pulido (por ejemplo, CMP). El proceso de planarización elimina una porción suficiente de la segunda capa 28b de encapsulación al área 24 de contacto aislada eléctricamente (véase la Figura 10E). En otra realización, las porciones seleccionadas de la segunda capa 28b de encapsulación se pueden grabar (véase, la Figura 10F).

35 Hay que señalar que la porción de la segunda capa 28a de encapsulación que recubre la región 22 de campo puede eliminarse, utilizando técnicas de grabado convencionales, para exponer la región 22 de campo (véase, la Figura 9E). De esta manera, el silicio monocristalino puede desarrollarse y/o formarse en la región 22 de campo. Posteriormente, los transistores u otros componentes activos pueden integrarse en o sobre el MEMS 10 usando técnicas de fabricación bien conocidas.

40 De hecho, en esas situaciones donde la primera capa 28a de encapsulación se deposita, forma y/o desarrolla sobre la región 22 de campo y/o el área 24 de contacto sin el uso de una máscara, las porciones seleccionadas de la primera capa 28a de encapsulación recubren la región 22 de campo y/o el área 24 de contacto puede grabarse para exponer

55

porciones y el silicio monocristalino. Posteriormente, se puede desarrollar silicio monocristalino permitiendo la integración de transistores u otros componentes activos como se describió anteriormente.

5 Hay que señalar además que el entorno (por ejemplo, la presión de gas o vapor de gas) dentro de la cámara 26 determina en cierta medida la amortiguación mecánica para estructuras 20a-d mecánicas. A este respecto, la cámara 26 incluye el fluido 42 que está "atrapado", "sellado" y/o contenido dentro de la cámara 26. El estado del fluido 42 dentro de la cámara 26 (por ejemplo, la presión) puede determinarse usando técnicas convencionales y/o utilizando las técnicas descritas e ilustradas en la solicitud de patente no provisional titulada "Sistema Electromecánico con Atmósfera Controlada y Método de Fabricación del Mismo", que se presentó el 20 de marzo de 2003 y se le asignó el Número de Serie 10/392,528 (en adelante "el Sistema Electromecánico que tiene una Solicitud de Patente de Atmósfera Controlada").

10 Las invenciones descritas e ilustradas en el sistema electromecánico que tiene una solicitud de patente de atmósfera controlada pueden implementarse con la invención que se describe e ilustra en esta solicitud. Por ejemplo, las técnicas de encapsulación descritas anteriormente pueden implementarse con técnicas descritas en el Sistema Electromecánico que tiene una Solicitud de Patente de Atmósfera Controlada para atrapar y/o sellar un fluido que tiene un estado seleccionado, deseado y/o predeterminado dentro de la cámara. De esta manera, el fluido proporciona una amortiguación mecánica deseada, predeterminada, apropiada y/o seleccionada para estructuras mecánicas dentro de la cámara.

20 Como otro ejemplo, el sistema electromecánico que tiene una Solicitud de Patente de Atmósfera Controlada describe un MEMS, que incluye una pluralidad de estructuras mecánicas micromaquinadas integradas monolíticamente que tienen uno o más sistemas electromecánicos (por ejemplo, giroscopios, resonadores, sensores de temperatura y/o acelerómetros). Con referencia a las Figuras 11A, en una realización, el MEMS 10 incluye una pluralidad de estructuras 12a-c mecánicas micromaquinadas que están integradas monolíticamente o dispuestas dentro del sustrato 14. Cada estructura 12a-c mecánica micromaquinada incluye una o más estructuras 20a-p mecánicas (por el bien de claridad solo una porción las cuales están numeradas) que están dispuestas en las cámaras 26a-d.

25 En ciertas realizaciones, las cámaras 26a-d están selladas o encapsuladas usando las técnicas descritas anteriormente. Las cámaras 26a-d pueden sellarse o encapsularse de la misma manera o sustancialmente de la misma manera o usando técnicas diferentes. De esta manera, la pluralidad de estructuras 12a-d puede fabricarse de manera que proporcione la misma, sustancialmente la misma, diferente o sustancialmente diferente amortiguación mecánica deseada, predeterminada, apropiada o seleccionada, para las estructuras 20a-p mecánicas.

30 De hecho, en al menos una realización, la estructura 12c incluye una pluralidad de cámaras, a saber, las cámaras 26c y 26d, cada una contiene un fluido 42c y 42d, respectivamente. Las cámaras 22c y 22d pueden sellarse o encapsularse de manera que los fluidos 42c y 42d, respectivamente, se mantengan en el mismo estado o en los mismos estados seleccionados, deseados y/o predeterminados. Como tal, en esta realización, los fluidos 42c y 42d pueden proporcionar la misma o sustancialmente la misma amortiguación mecánica deseada, predeterminada, apropiada y/o seleccionada para las estructuras 20h-k y 20l-p mecánicas, respectivamente.

35 Alternativamente, en al menos otra realización, las cámaras 26c y 26d puede ser selladas o encapsuladas utilizando diferentes o distintas técnicas tales que los fluidos 24c y 24d pueden estar "atrapados", "sellados", mantenidos y/o contenidos en las cámaras 26c y 26d, respectivamente, en estados diferentes o sustancialmente diferentes seleccionados, deseados y/o predeterminados. En esta realización, las cámaras 26c y 26d pueden "sellarse" usando diferentes técnicas de procesamiento, diferentes condiciones de procesamiento y/o diferentes materiales (por ejemplo, gases o vapores de gas). Como tal, después de la encapsulación, los fluidos 42c y 42d proporcionan características de amortiguación mecánica diferentes o sustancialmente diferentes para las estructuras 20h-k y 20l-p mecánicas, respectivamente. De esta manera, la estructura 12c mecánica micromaquinada puede incluir diferentes sistemas electromecánicos (por ejemplo, giroscopios, resonadores, sensores de temperatura y acelerómetros) que requieren características de amortiguación mecánica diferentes o sustancialmente diferentes para una operación óptima, predeterminada y deseada.

40 Como se mencionó anteriormente, en un conjunto de realizaciones, una estructura monolítica puede incluir la estructura 12 mecánica y la electrónica 16 de procesamiento de datos y/o circuitos 18 de interfaz que se integran en o en un sustrato común. Con referencia a las Figuras 12A-12C, el MEMS 10 incluye la estructura 12 mecánica micromaquinada, que tiene las estructuras 20a-20d y el área 24 de contacto, así como la electrónica 16 de procesamiento de datos, que incluye los circuitos 50 integrados dispuestos en la región 22b de campo (y/o la región 22a que no se ilustra). Como se mencionó anteriormente, las estructuras 20a-20d mecánicas (y el contacto 24) pueden formarse a partir de, por ejemplo, un único material cristalino (Figuras 12A y 12B) o un material policristalino (Figura 12C). Además, la vía o el tapón 38 de contacto también puede formarse a partir de, por ejemplo, principalmente un material cristalino único (Figura 12B) o un material policristalino (Figuras 12A y 12C).

Hay que señalar que la estructura 12 mecánica puede estar conectada eléctricamente a los circuitos 50 integrados a través de la capa 46 de baja resistencia. Los circuitos 50 integrados pueden fabricarse utilizando técnicas convencionales.

5 En particular, en aquellos casos donde el contacto 24 se accede directamente por los circuitos 50 integrados, puede ser ventajoso proporcionar una ruta eléctrica de baja resistencia. La capa 48 de aislamiento puede depositarse, formarse y/o desarrollarse y modelarse para proporcionar o facilitar la interconexión con el área 24 de contacto. Posteriormente, se forma una capa 46 de baja resistencia (por ejemplo, un polisilicio o metal muy dopado tal como aluminio, cromo, oro, plata, molibdeno, platino, paladio, tungsteno, titanio y/o cobre).

10 Cualquiera y todas las realizaciones que se ilustran y describen en este documento pueden incluir múltiples capas de estructuras mecánicas, áreas de contacto y contactos ocultos que están apilados o interconectados vertical y/o lateralmente (véase, por ejemplo, la estructura 12 mecánica micromaquinada de las Figuras 11B, 11C y 11D). Además, una sola capa y múltiples capas de estructuras mecánicas pueden estar apiladas o interconectadas vertical y/o lateralmente (véase, por ejemplo, la estructura 12b mecánica micromaquinada de la Figura 11A). Además, la estructura 12 mecánica micromaquinada resultante puede integrarse con los circuitos 50 integrados en un sustrato 14 común. Puede ser adecuada cualquier ubicación vertical y/o lateral de la estructura 12 mecánica micromaquinada, en relación con los circuitos 50 integrados.

20 Por otra parte, con referencia a la Figura 13, en aquellos casos donde el material que comprende una segunda o posterior capa de encapsulación (por ejemplo, la segunda capa 28b de encapsulación) se deposita, forma o desarrolla sobre superficies seleccionadas de las estructuras en la cámara 26 (por ejemplo, las superficies de las estructuras 20a-d mecánicas y áreas 22a y 22b de campo) a medida que la cámara 26 se sella o encapsula, puede ser ventajoso diseñar y fabricar estructuras 20a-d mecánicas para tener en cuenta la deposición, formación o desarrollo del material adicional. El grosor del material 28b' adicional en las superficies de las estructuras 20a-d mecánicas puede ser aproximadamente igual al ancho o diámetro de la ventilación 36. Por consiguiente, en un conjunto de realizaciones, el diseño (por ejemplo, grosor, altura, ancho y/o la relación lateral y/o vertical con otras estructuras en la cámara 36) de las estructuras 20a-d mecánicas incorpora dicho material 28b' adicional y la fabricación de estructuras 20a-d mecánicas para proporcionar una estructura final que incluye al menos dos etapas. Una primera etapa la cual fabrica estructuras 20a-d mecánicas de acuerdo con las dimensiones iniciales (por ejemplo, como se describe anteriormente con respecto a las Figuras 4A y 4B) y una segunda etapa que incluye la deposición, formación o desarrollo del material 28b' como resultado de la deposición, formación o desarrollo de al menos una capa de encapsulación, por ejemplo, la segunda capa 28b de encapsulación y/o la capa de encapsulación posterior.

30 El término "depositar" y otras formas (es decir, el depósito, la deposición y depositado) en las reivindicaciones, significa, entre otras cosas, la deposición, la creación, la formación de y/o el desarrollo de una capa de material, utilizando, por ejemplo, un reactor (por ejemplo, un reactor epitaxial, de pulverización o con base en CVD (por ejemplo, APCVD, LPCVD o PECVD)).

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un dispositivo electromecánico que tiene estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas, un contacto (24) eléctrico y regiones (22a, 22b) de campo, todas superpuestas a un sustrato (14), en donde las estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas y el contacto (24) eléctrico están dispuestos entre las regiones (22a, 22b) de campo, en donde las regiones (22a, 22b) de campo están compuestas de silicio, germanio, silicio/germanio, carburo de silicio o arseniuro de galio, y en donde las estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas residen en una cámara (26) sellada, comprendiendo el método:
- 5 proporcionar un sustrato (14) con una primera capa (30) de sacrificio, un contacto (24) eléctrico y estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas, en donde el contacto (24) eléctrico y las estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas están dispuestas entre regiones (22a, 22b) de campo, en donde el contacto (24) eléctrico, las estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas y las regiones (22a, 22b) de campo están todas dispuestas en la primera capa (30) de sacrificio;
- 10 depositar una segunda capa (32) de sacrificio sobre las estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas, el contacto (24) eléctrico y una porción de cada una de las regiones (22a, 22b) de campo, cubriendo directamente las estructuras (20a, 20b, 20c, 20d) mecánicas, el contacto (24) eléctrico y las porciones de las regiones (22a, 22b) de campo;
- 15 formar una abertura (34) en la segunda capa (32) de sacrificio, en donde la abertura (34) está posicionada en una porción de la segunda capa (32) de sacrificio la cual cubre el contacto (24) eléctrico;
- depositar una primera capa (28a) de encapsulación sobre la segunda capa (32) de sacrificio que llena la abertura (34) para formar una vía (38) de contacto, en donde la primera capa (28a) de encapsulación consiste en un material semiconductor;
- 20 formar al menos una ventilación (36) a través de la primera capa (28a) de encapsulación para permitir la eliminación de al menos una porción de la primera y segunda capas (30, 32) de sacrificio;
- retirar al menos una porción de la primera y segunda capas (30, 32) de sacrificio para formar la cámara (26);
- 25 sellar la cámara (26) depositando una segunda capa (28b) de encapsulación en la primera capa (28a) de encapsulación, en donde la segunda capa (28b) de encapsulación consiste en un material semiconductor y cubre la ventilación (36).
2. El método de la reivindicación 1, en donde la segunda capa (28b) de encapsulación está compuesta de silicio policristalino, silicio amorfo, carburo de silicio, silicio/germanio, germanio o arseniuro de galio.
3. El método de la reivindicación 2, en donde la primera capa (28a) de encapsulación está compuesta por un silicio policristalino, silicio amorfo, germanio, silicio/germanio o arseniuro de galio.
- 30 4. El método de la reivindicación 1, que incluye además planarizar una superficie expuesta de la segunda capa (28b) de encapsulación.
5. El método de la reivindicación 1, que incluye además planarizar una superficie expuesta de la segunda capa (28b) de encapsulación y eliminar una cantidad suficiente de la segunda capa (28b) de encapsulación para exponer de ese modo la primera capa (28a) de encapsulación.
- 35 6. El método de la reivindicación 1, en donde depositar la primera y segunda capas (28a, 28b) de encapsulación incluye el uso de un reactor epitaxial o CVD.
7. El método de la reivindicación 1, en donde una primera porción de la primera capa (28a) de encapsulación está compuesta de un silicio monocristalino y una segunda porción está compuesta de un silicio policristalino.
- 40 8. El método de la reivindicación 7, que incluye además planarizar una superficie de la segunda capa (28b) de encapsulación para exponer la primera porción de la primera capa (28a) de encapsulación.
9. El método de la reivindicación 8, que incluye además desarrollar un silicio monocristalino en la primera porción de la primera capa (28a) de encapsulación.
10. El método de una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la cámara (26) incluye un fluido que tiene una presión que proporciona amortiguación mecánica para la estructura (20a, 20b, 20c, 20d) mecánica.
- 45 11. El método de la reivindicación 1, en donde la primera capa de encapsulación es un material semiconductor que se dopa con una primera impureza para proporcionar una primera región de un primer tipo de conductividad, y

la segunda capa de encapsulación se dopa con una segunda impureza para proporcionar una segunda región con un segundo tipo de conductividad y en donde el primer tipo de conductividad está opuesto al segundo tipo de conductividad.

5 12. El método de la reivindicación 1, en donde la eliminación de al menos una porción de la primera capa (30) de sacrificio se realiza de tal manera que una columna (40) de la primera capa (30) de sacrificio permanezca entre el sustrato (14) y el área (24) de contacto eléctrico.

10 13. El método de la reivindicación 1, en donde se forma al menos una ventilación (36) de modo que al menos una ventilación (36) se dispone en una primera porción de la primera capa (28a) de encapsulación que cubre la estructura (20a, 20b, 20c, 20d) mecánica y otra ventilación (36) está dispuesta en una segunda porción de la primera capa (28a) de encapsulación que cubre una porción de la segunda capa (32) de sacrificio que se coloca entre el área (24) de contacto eléctrico y una de las regiones (22b) de campo.

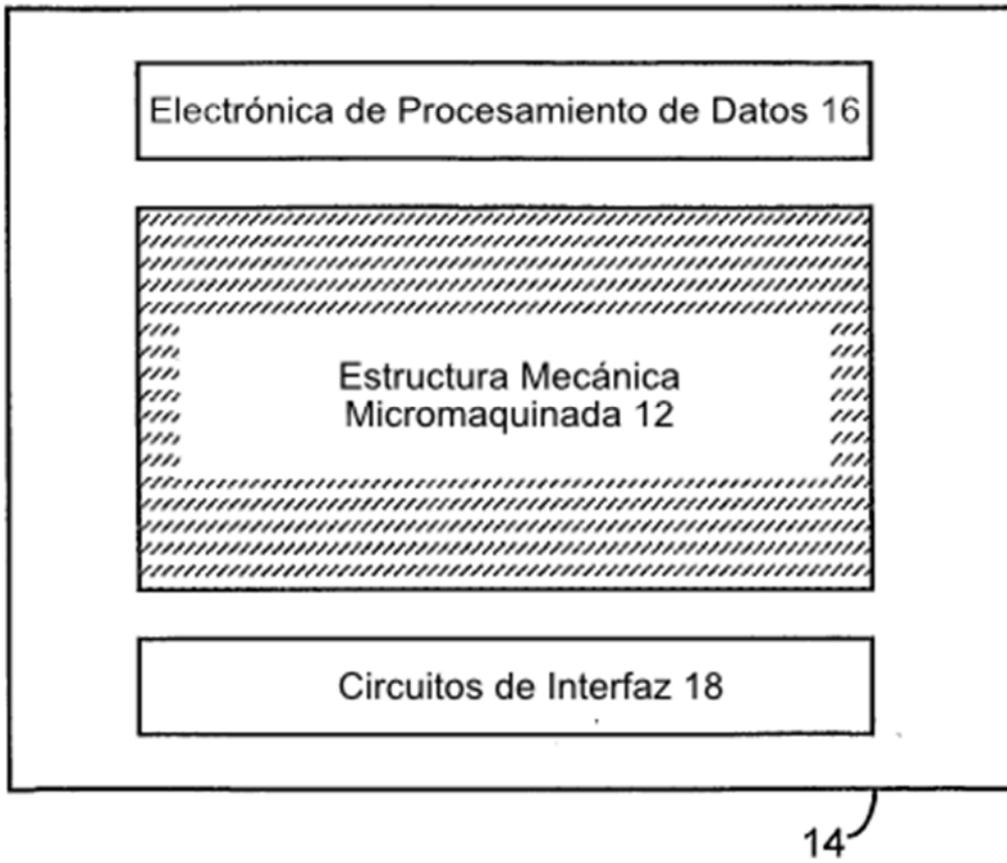
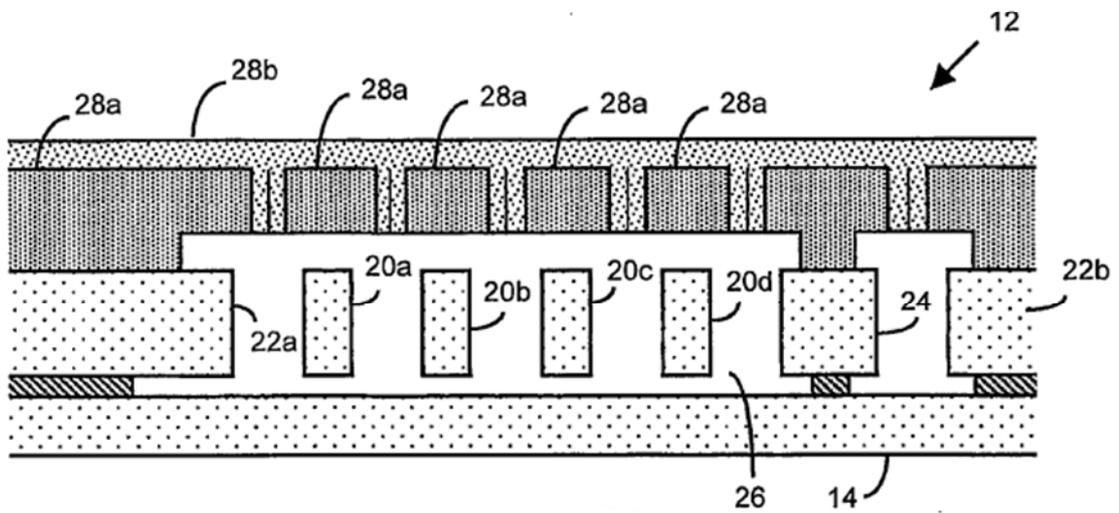
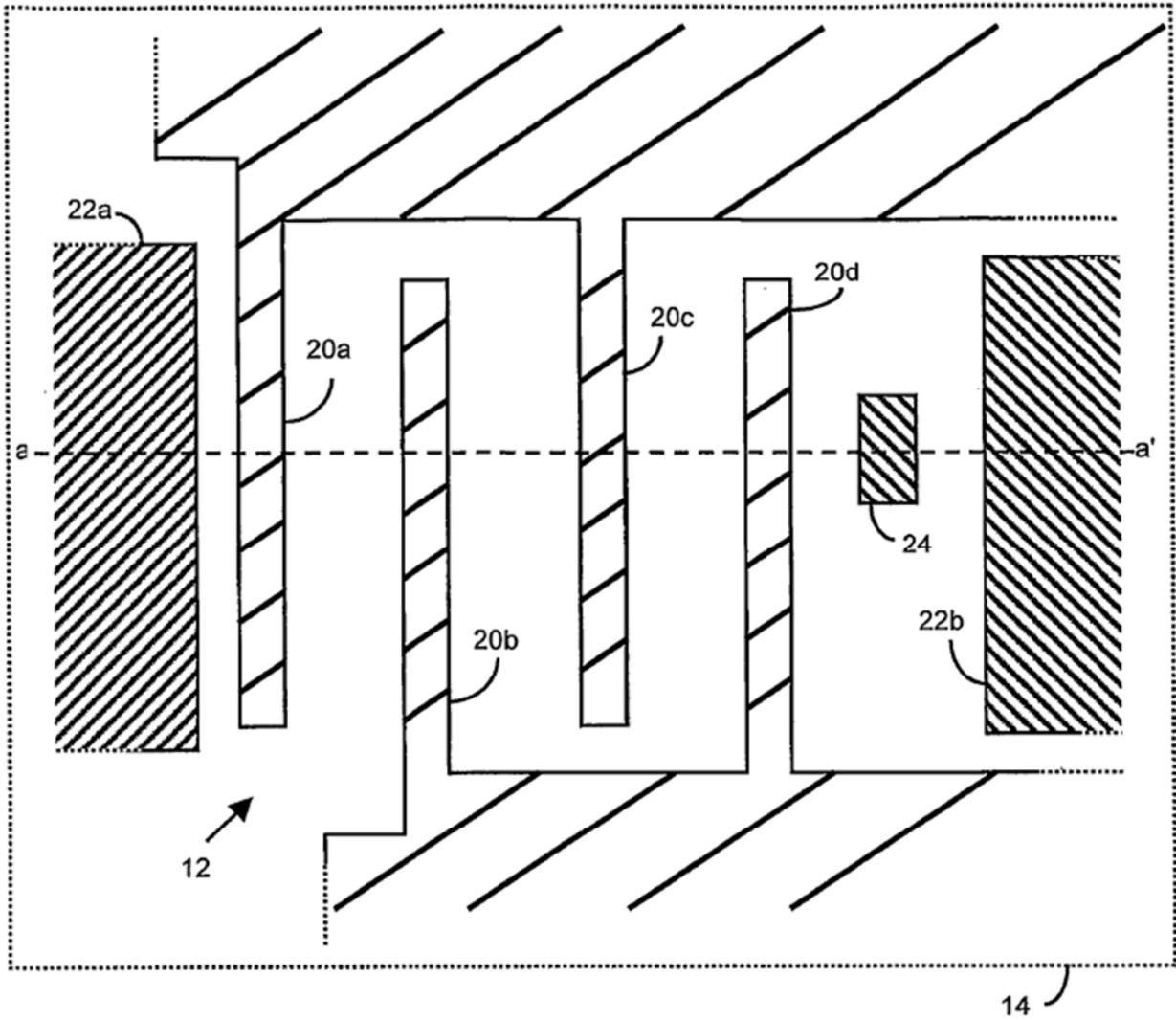


FIGURA 1



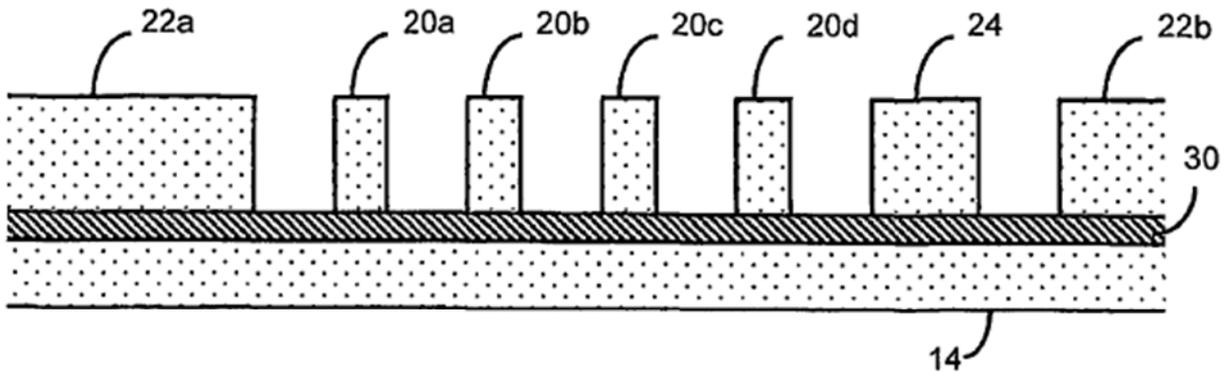


FIGURA 4A

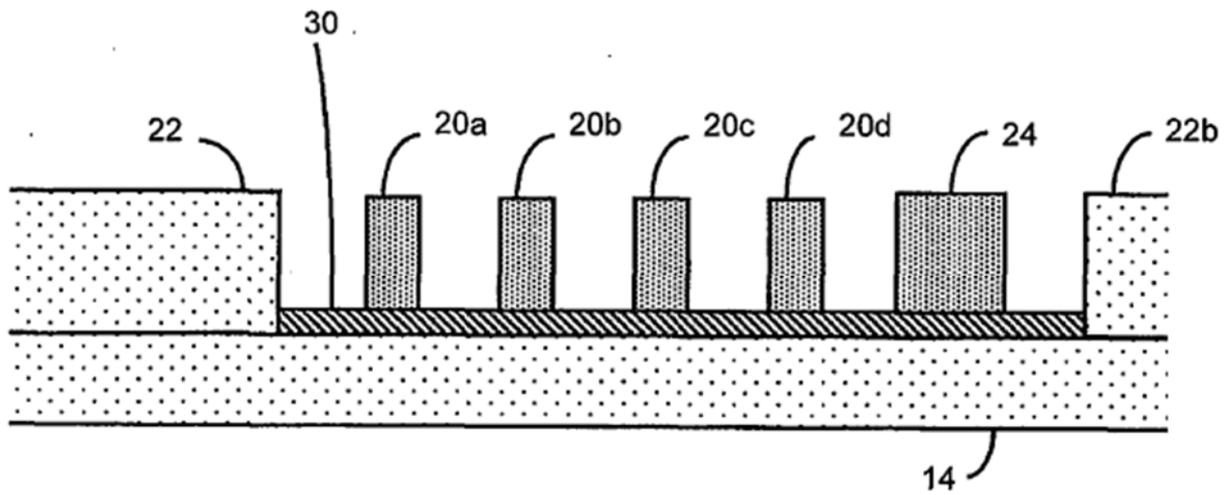


FIGURA 4B

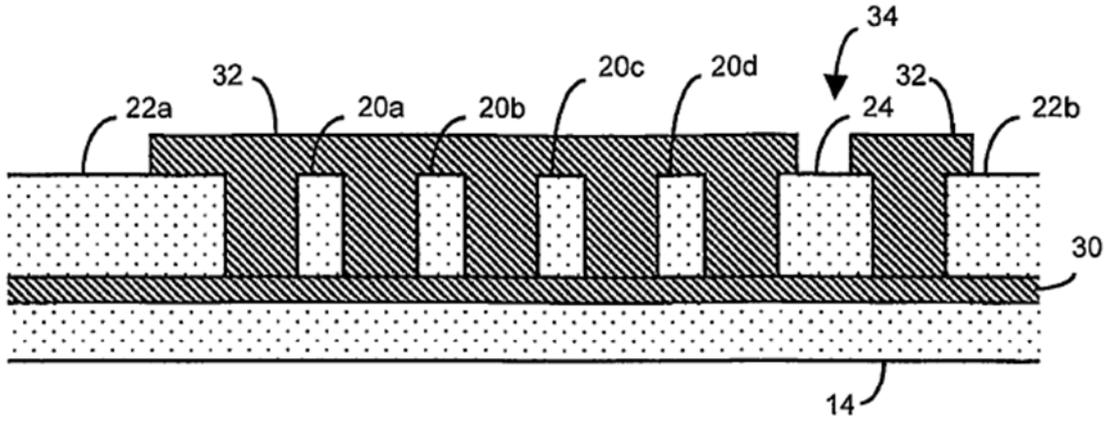


FIGURA 4C

12

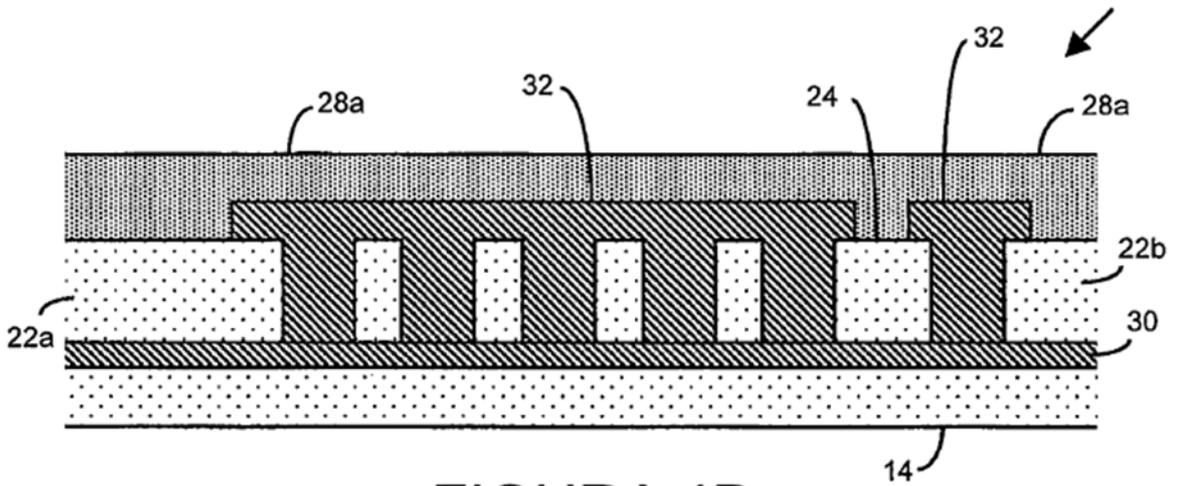


FIGURA 4D

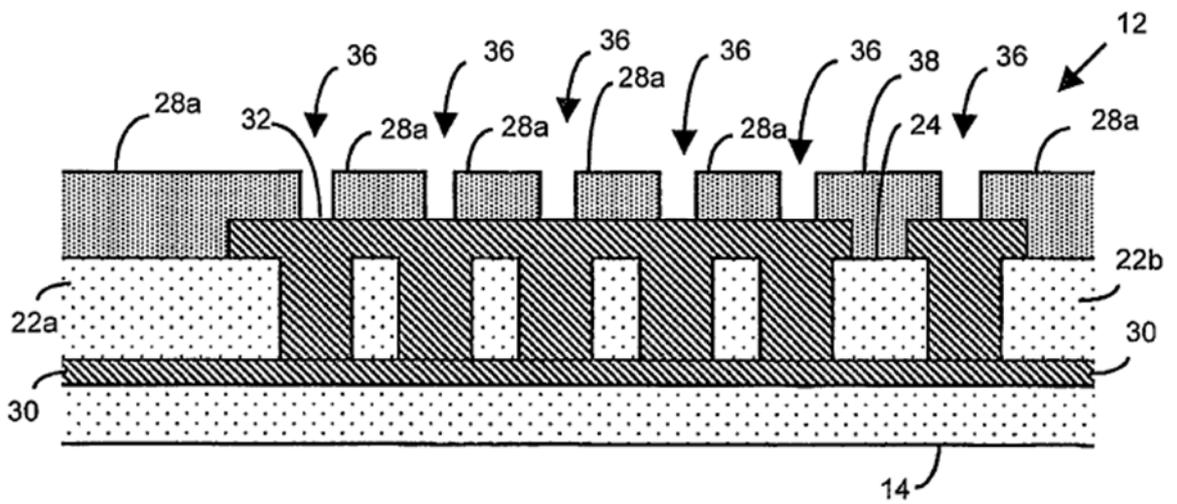
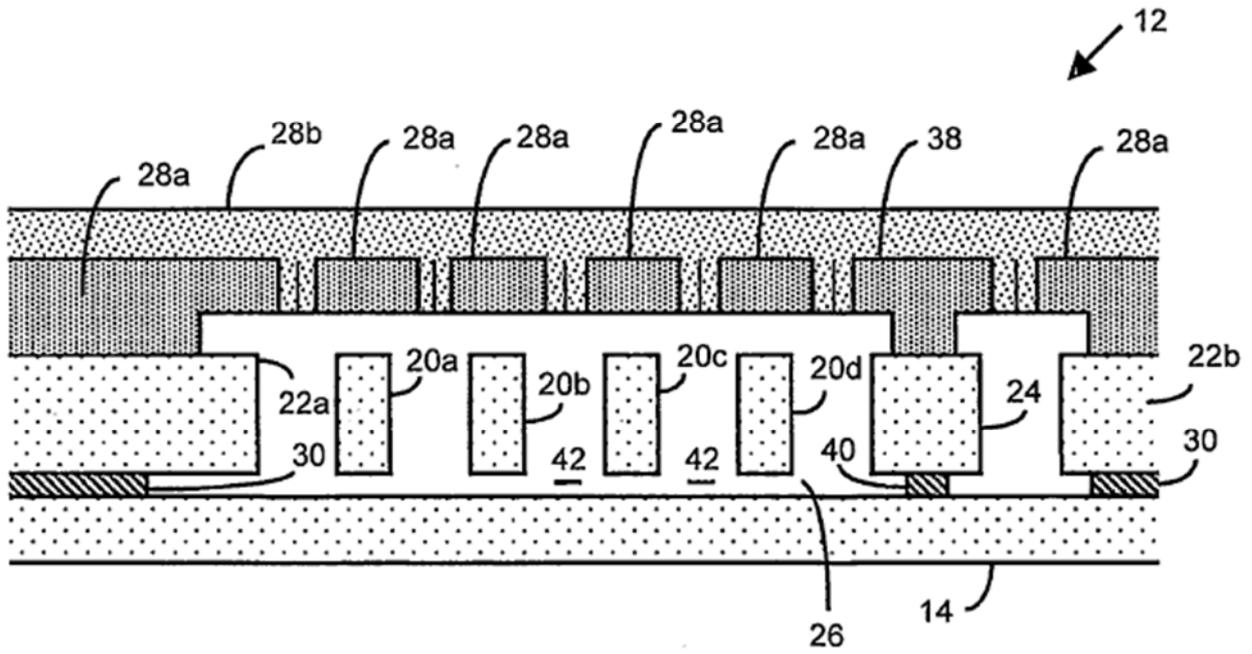
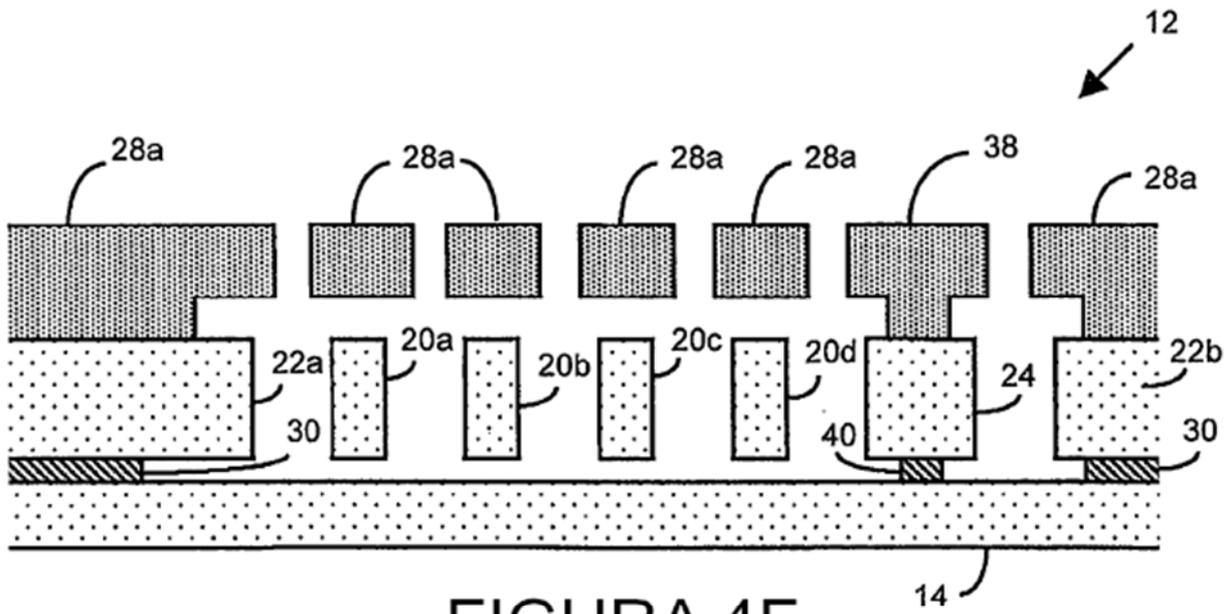
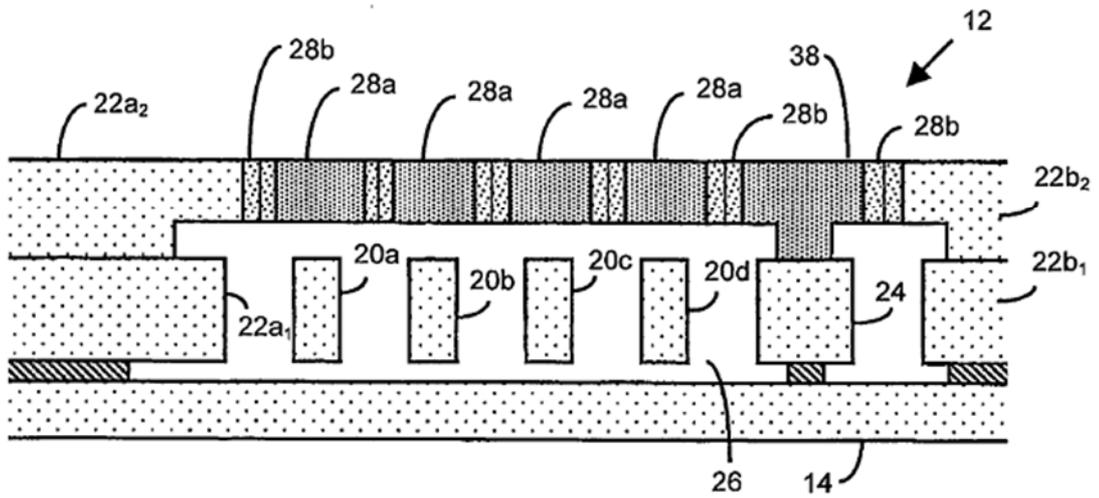
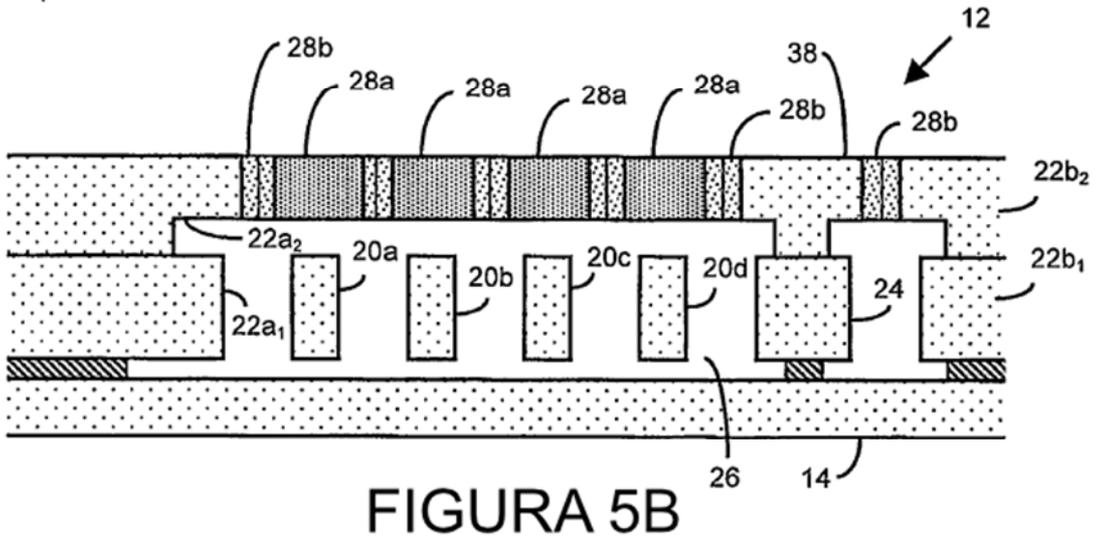
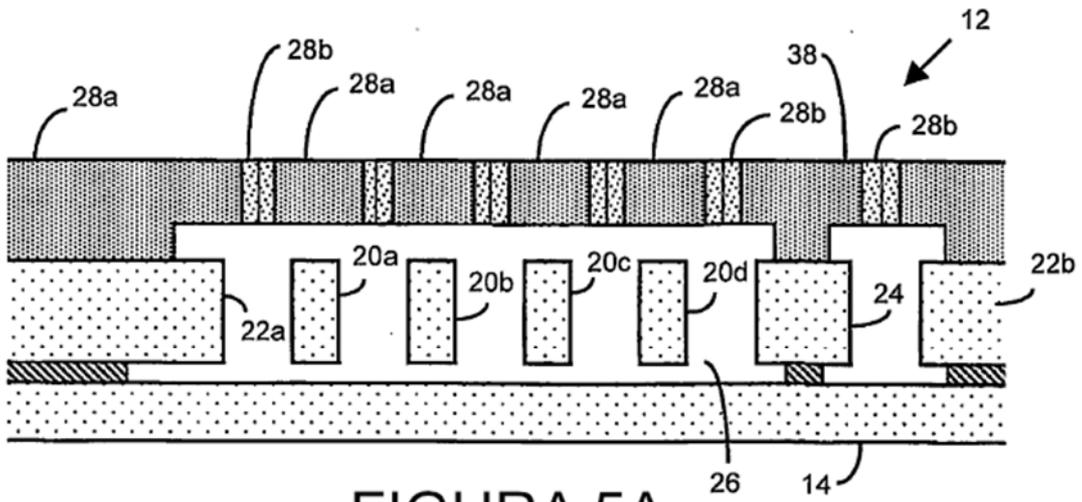


FIGURA 4E





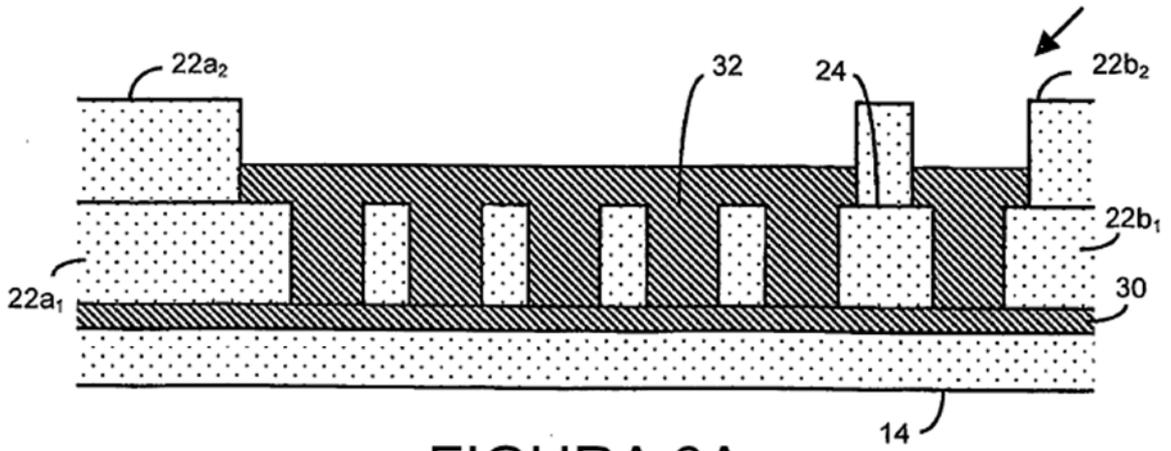


FIGURA 6A

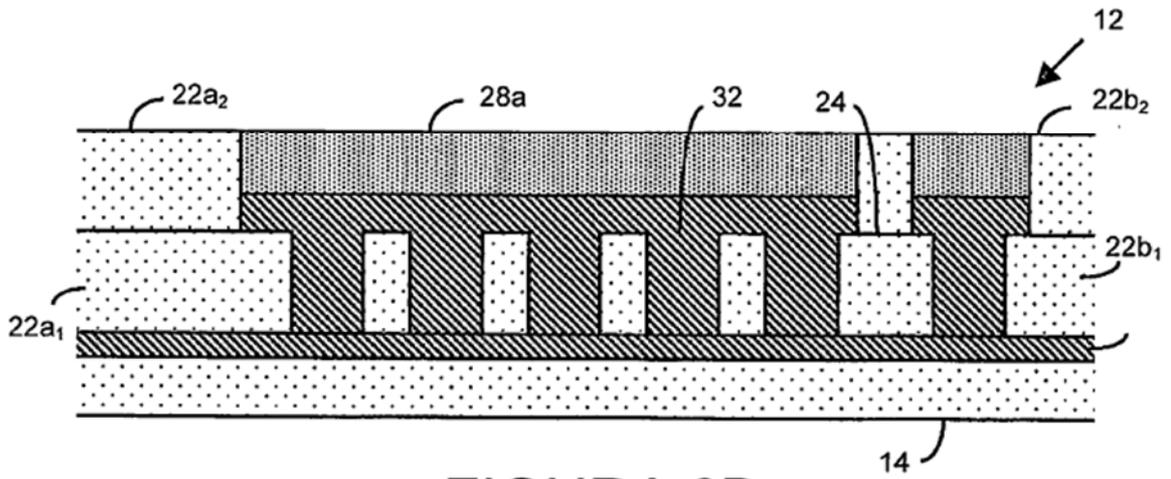


FIGURA 6B

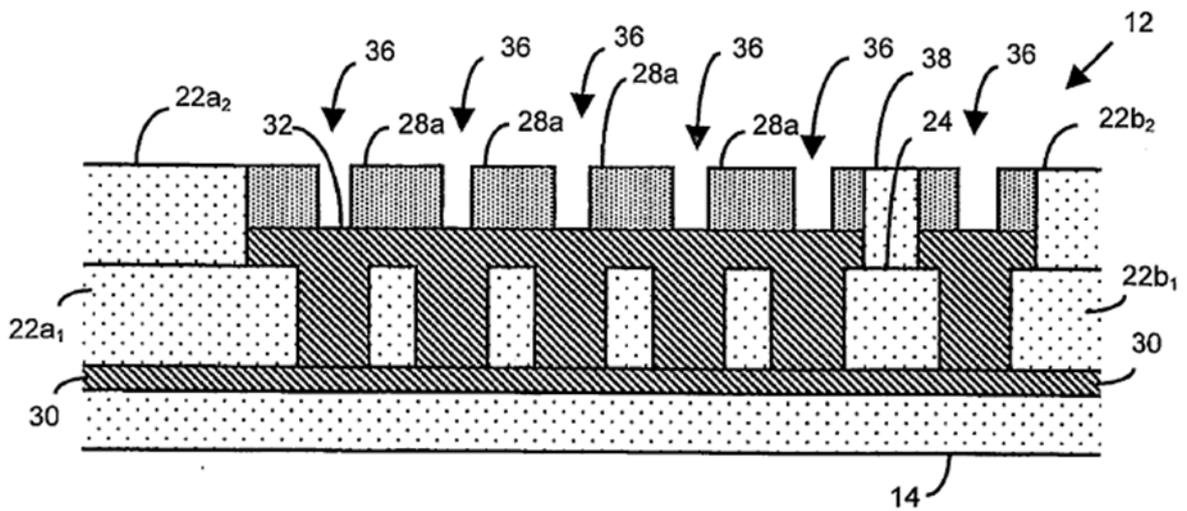
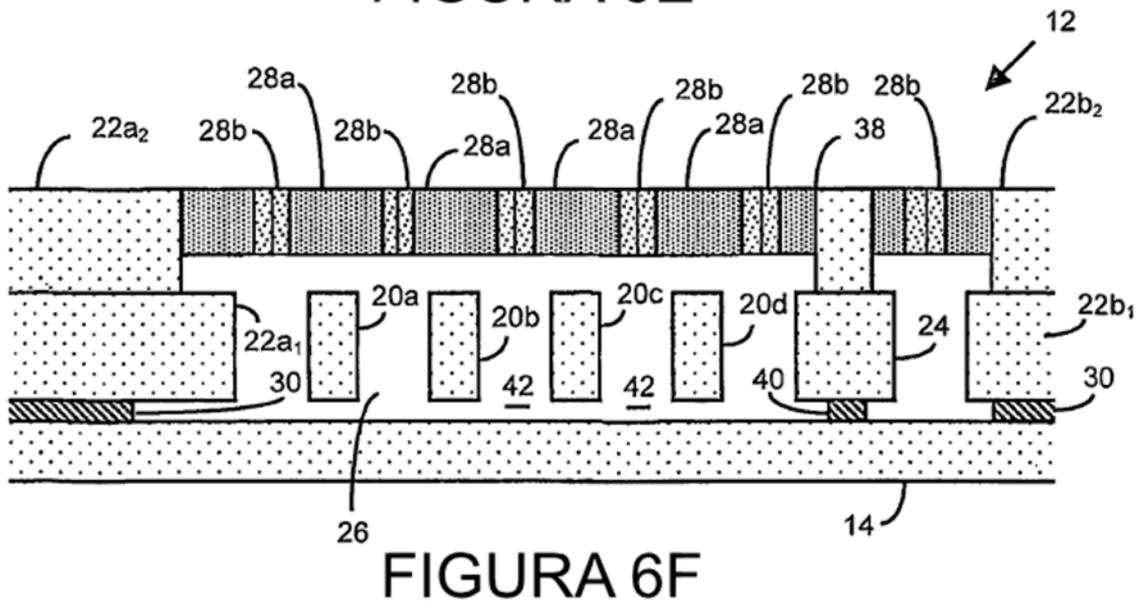
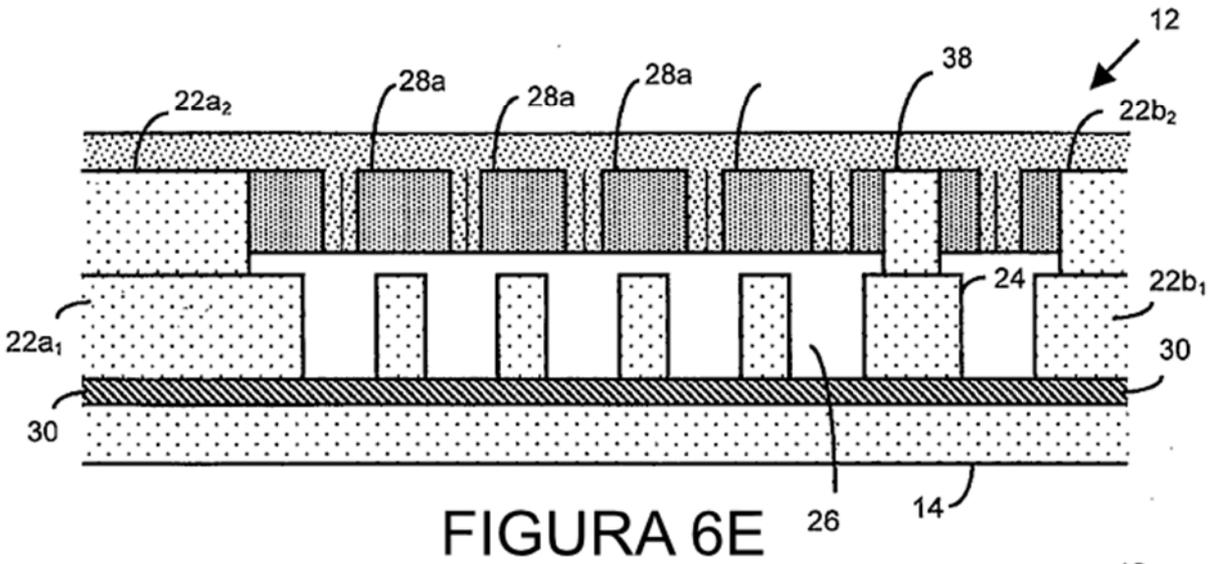
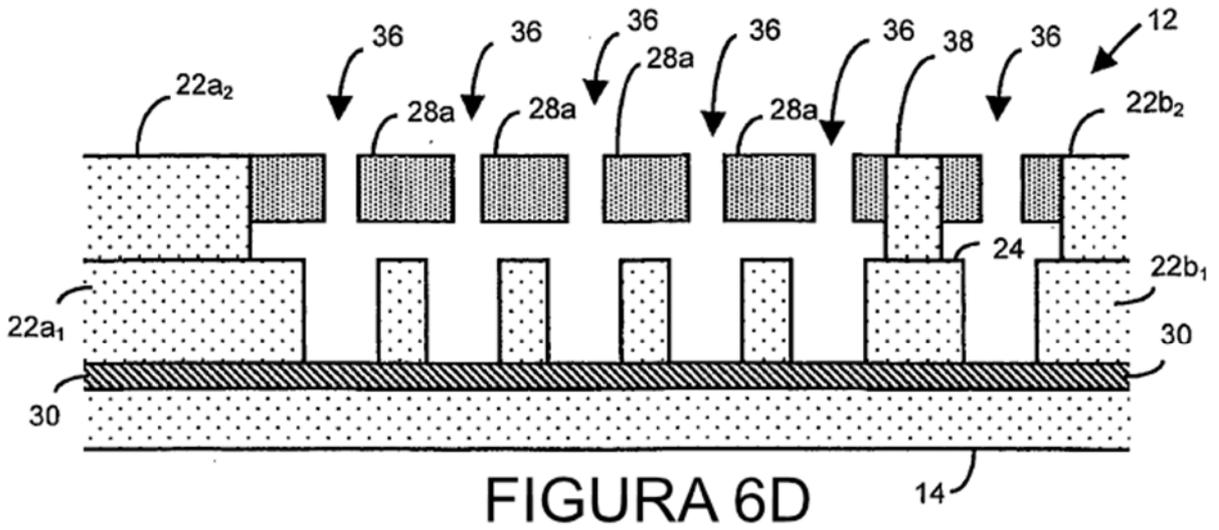


FIGURA 6C



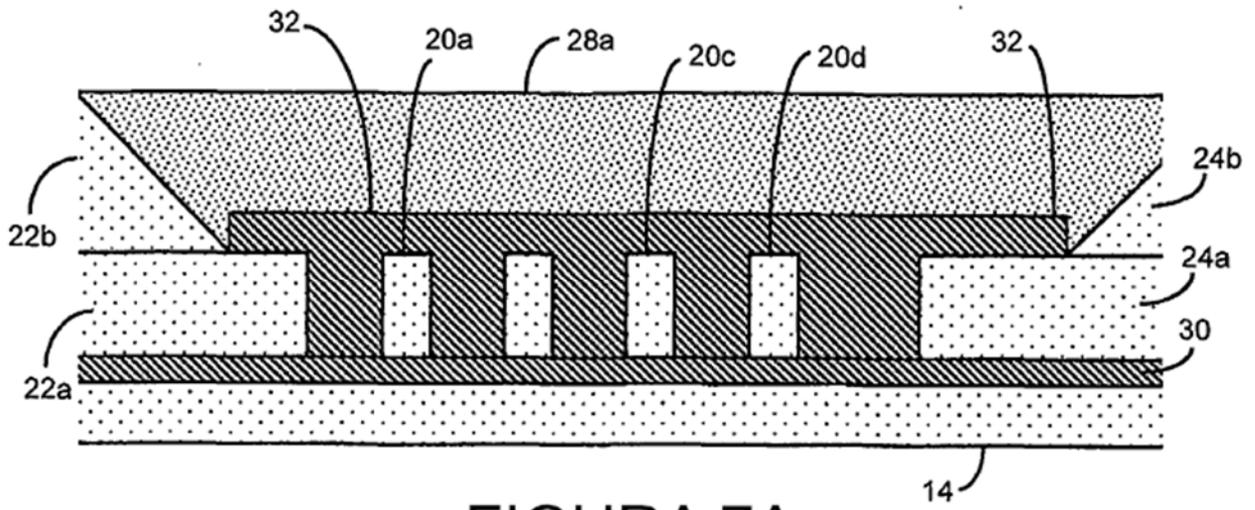


FIGURA 7A

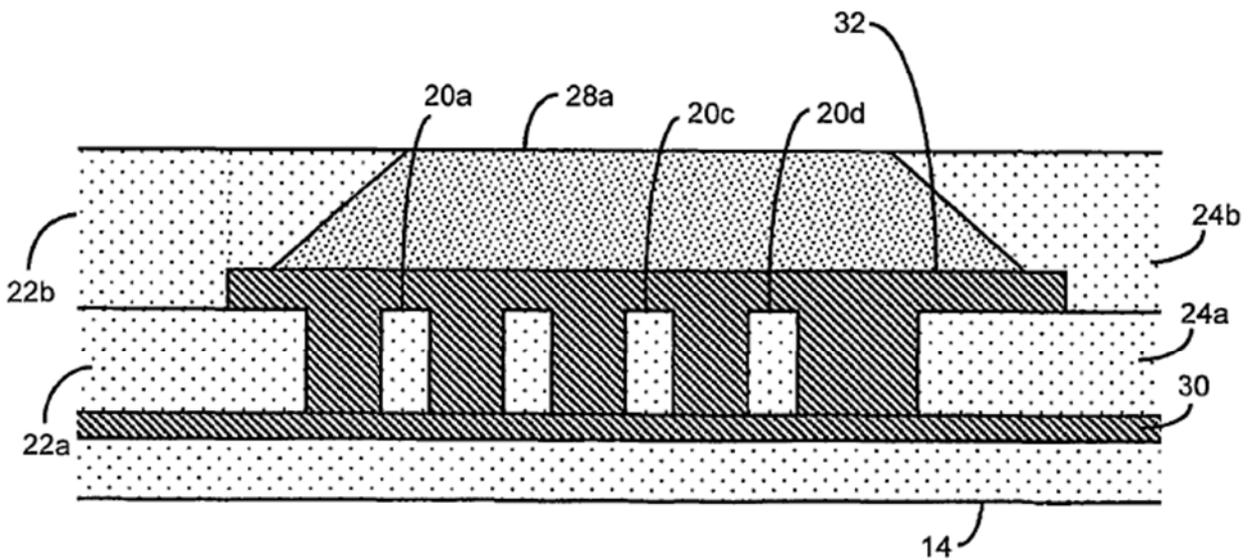


FIGURA 7B

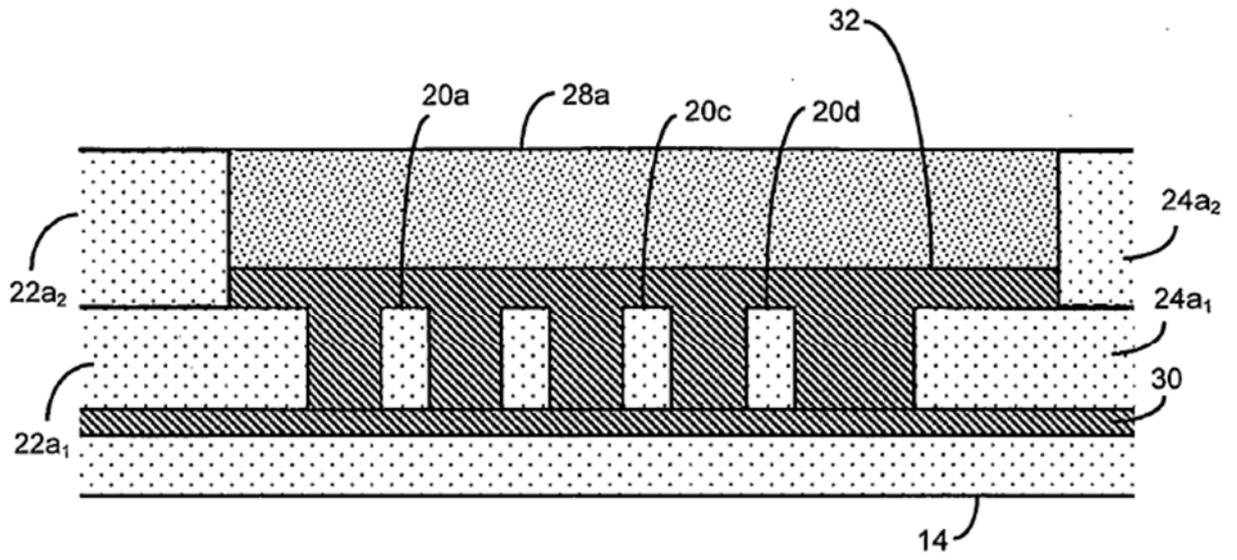


FIGURA 7C

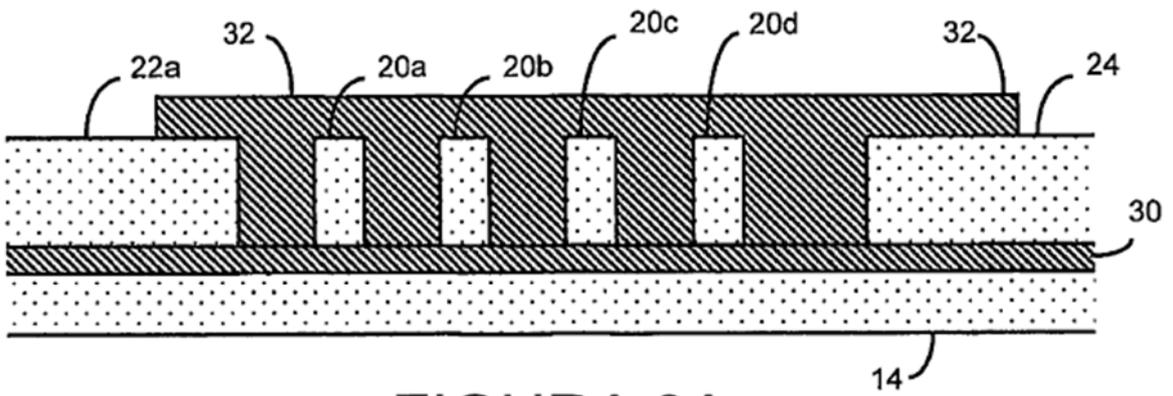


FIGURA 8A

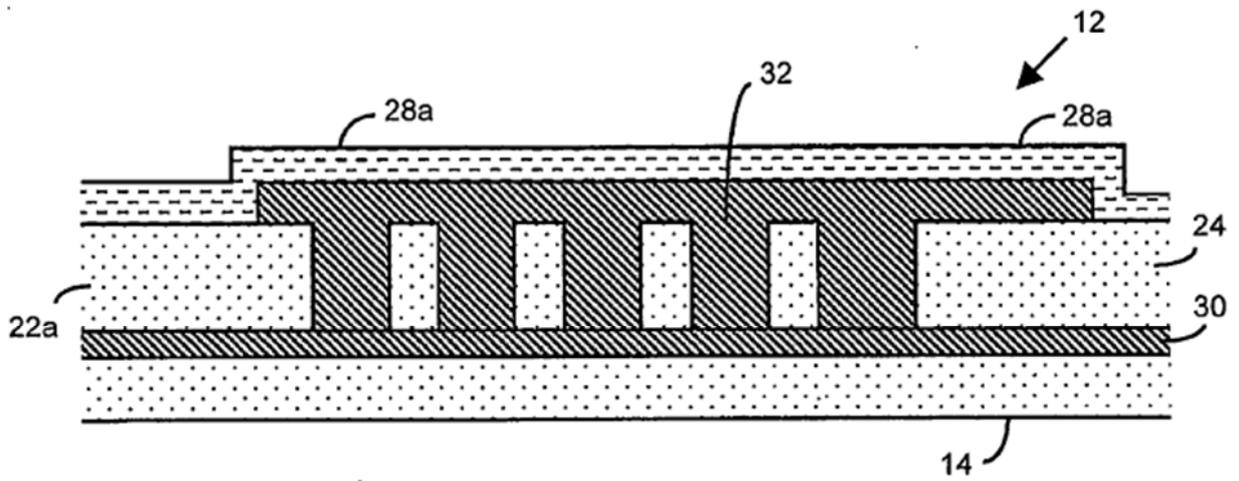


FIGURA 8B

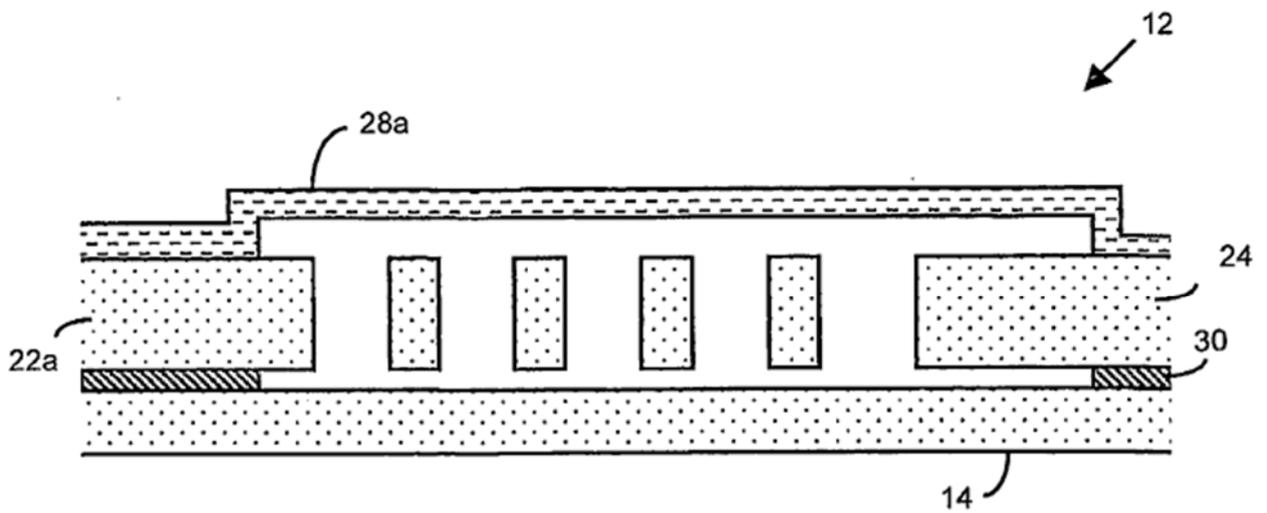


FIGURA 8C

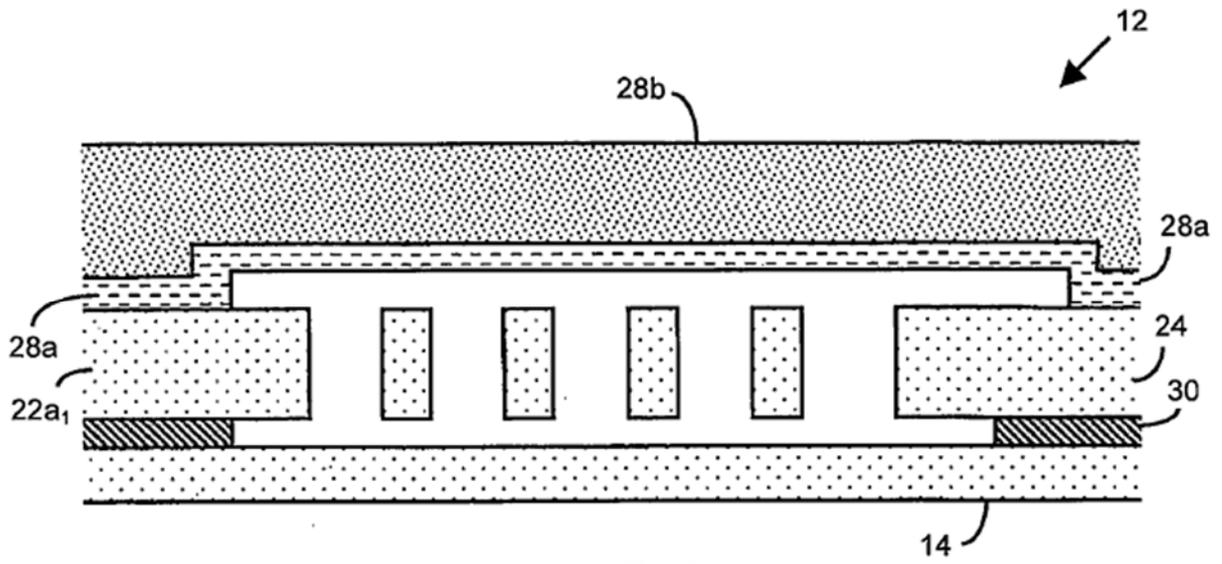


FIGURA 8D

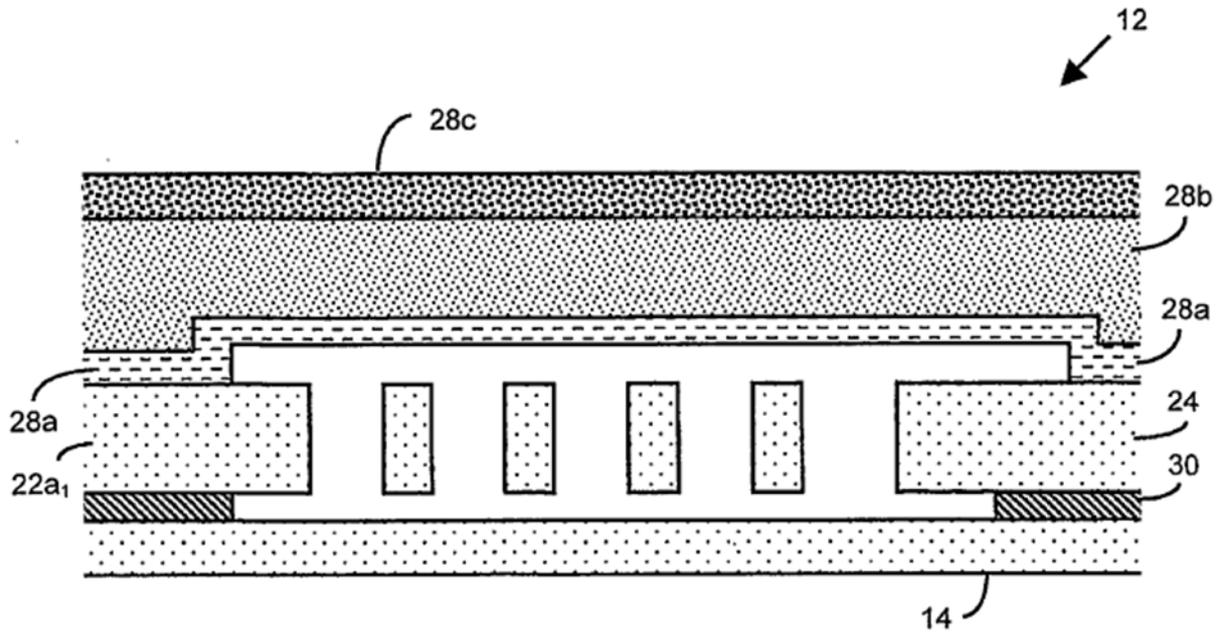
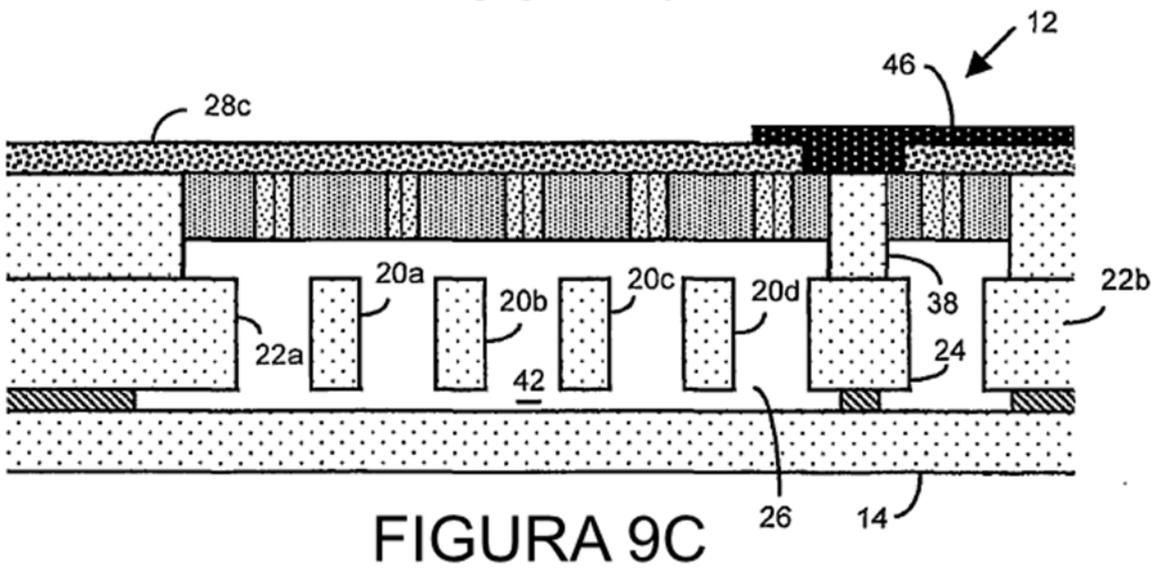
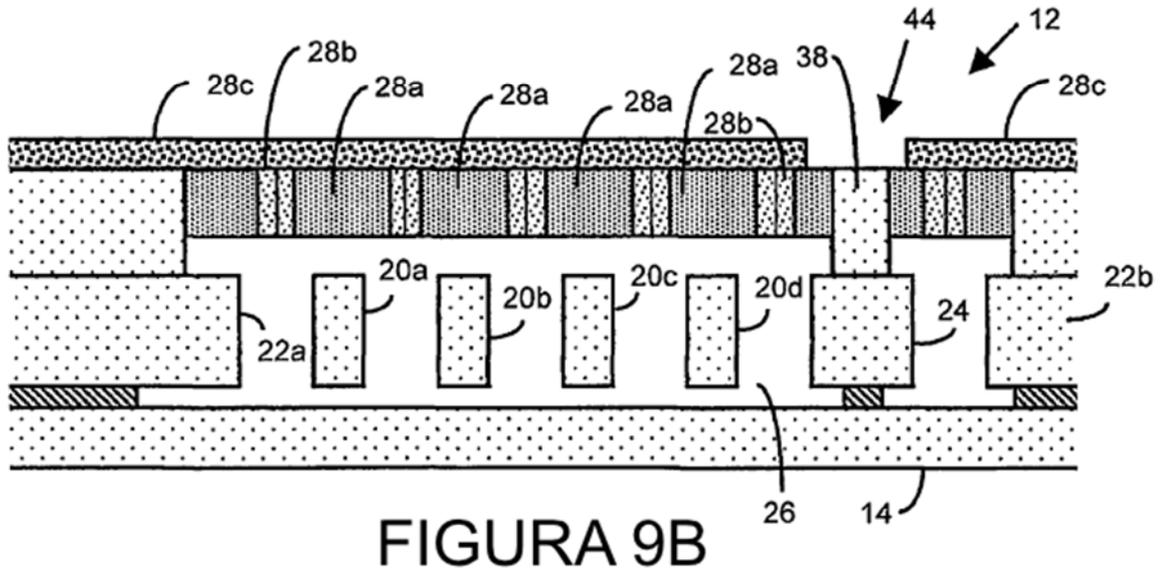
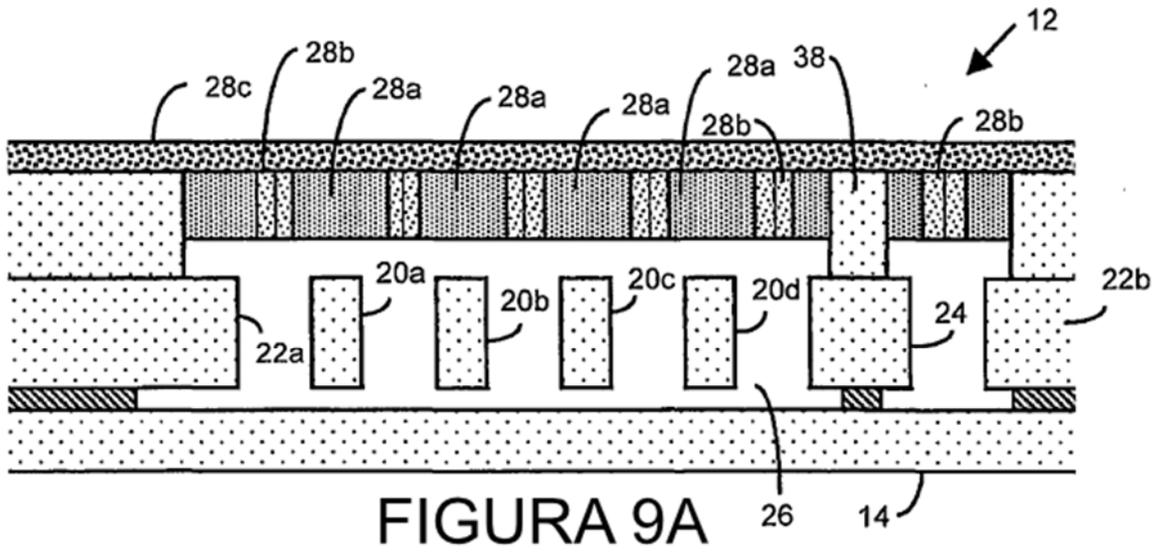


FIGURA 8E



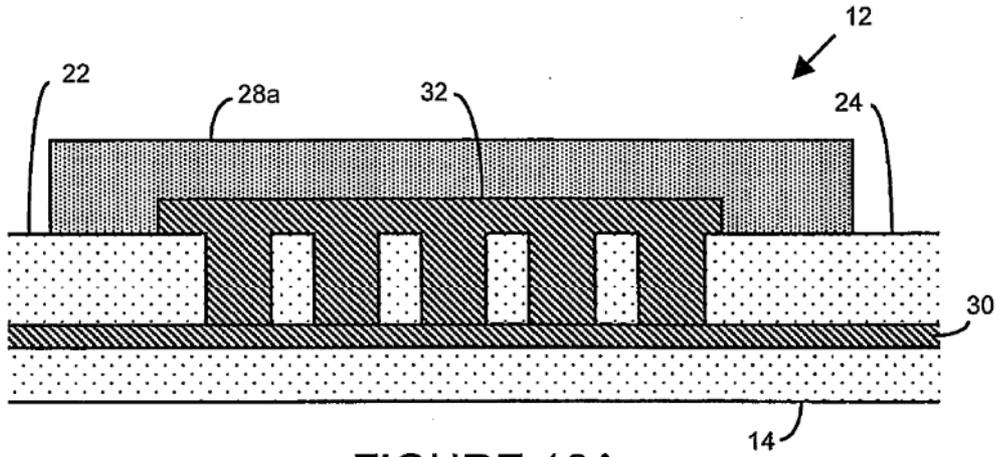


FIGURE 10A

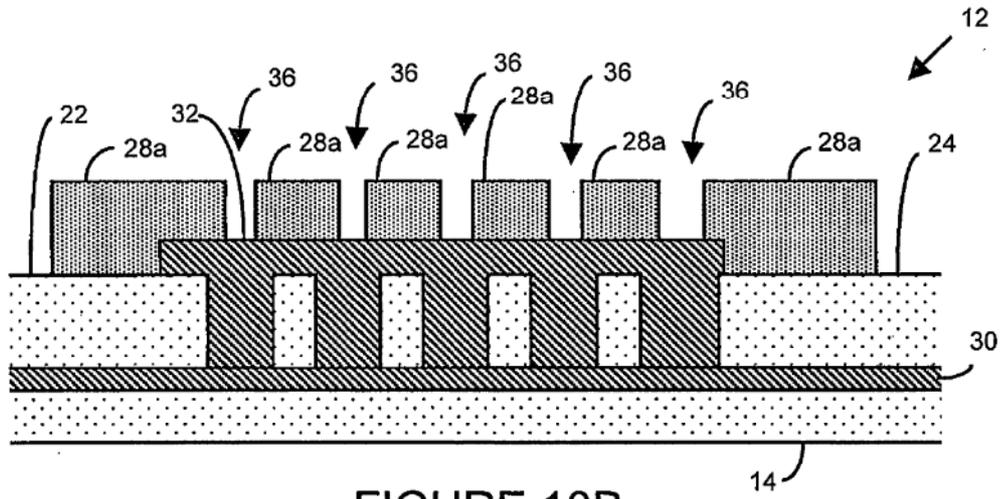


FIGURE 10B

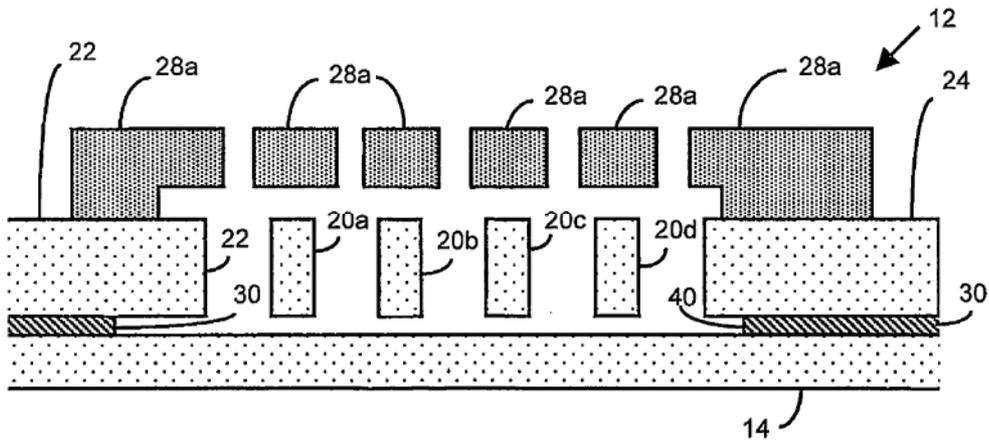
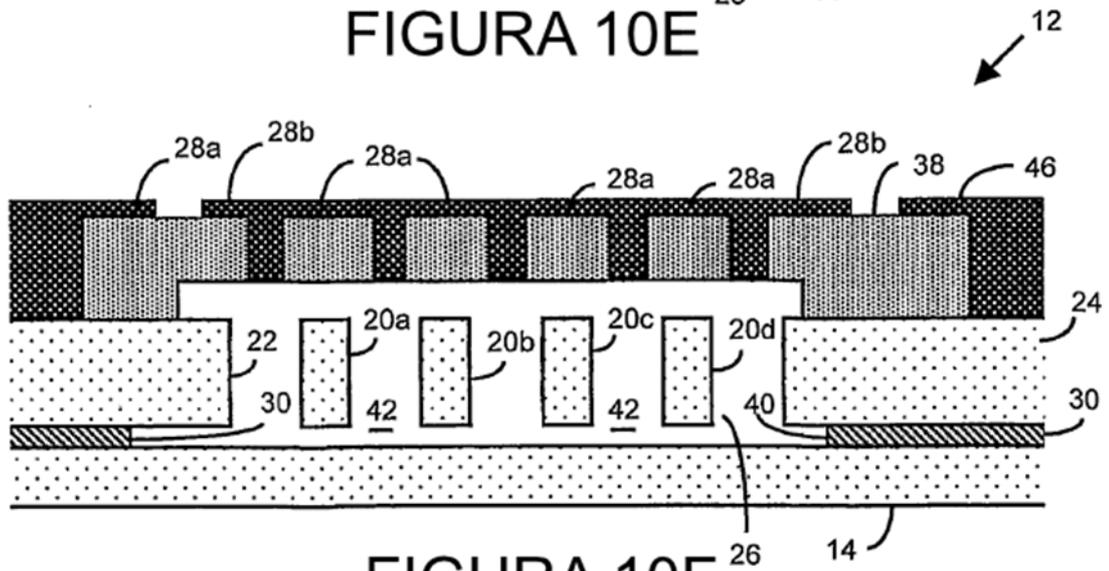
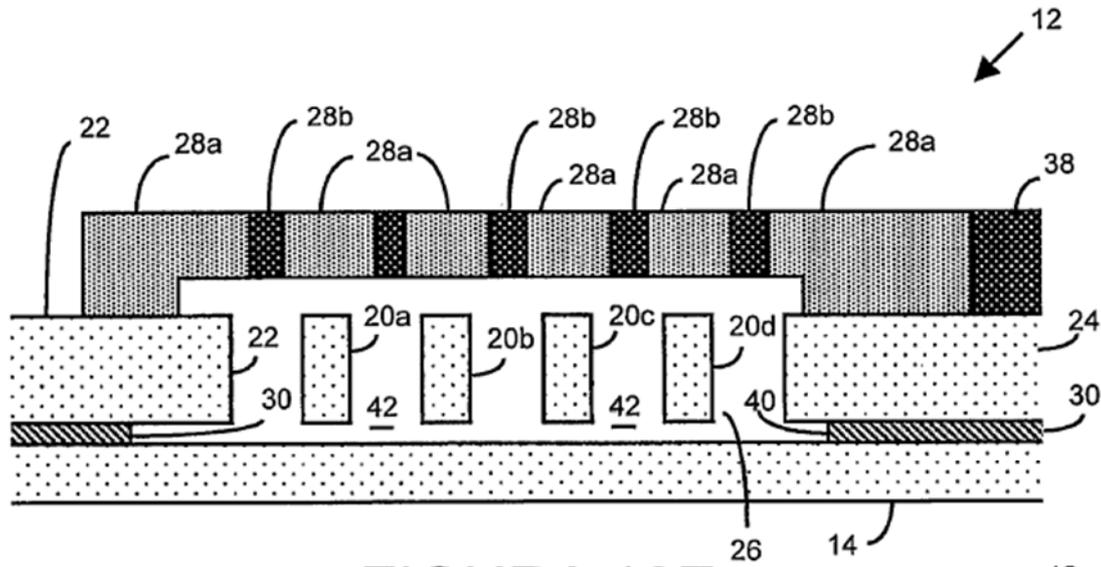
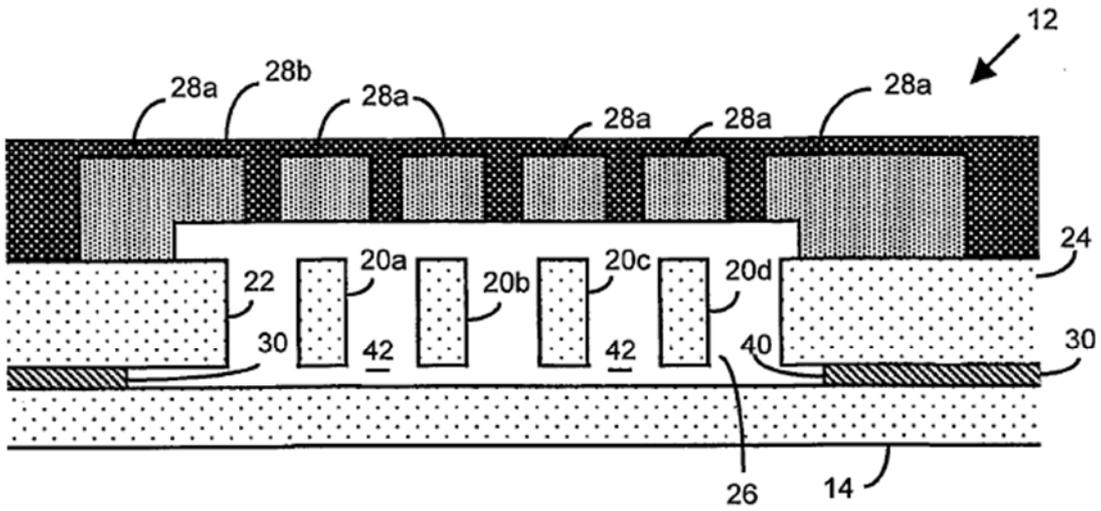


FIGURE 10C



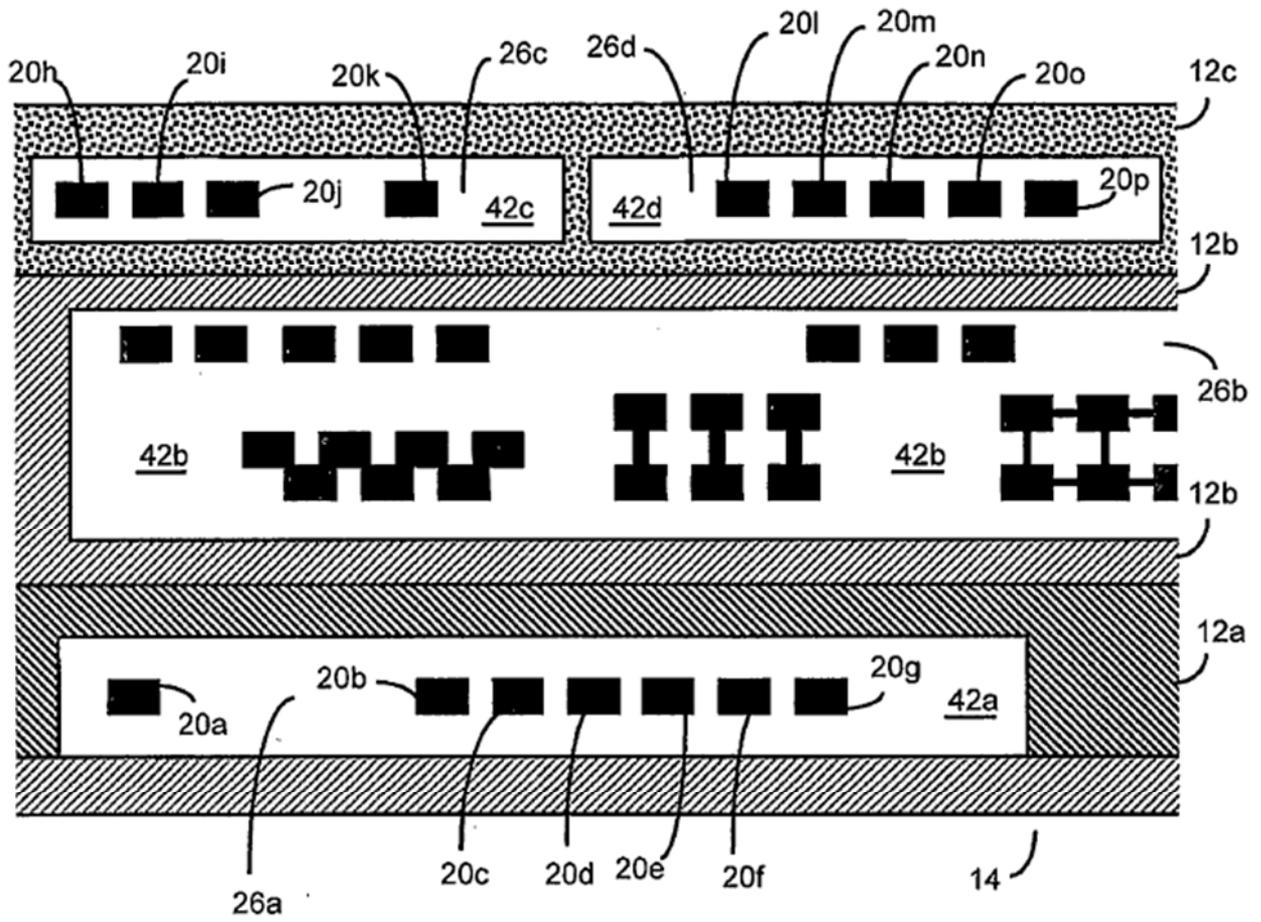


FIGURA 11A

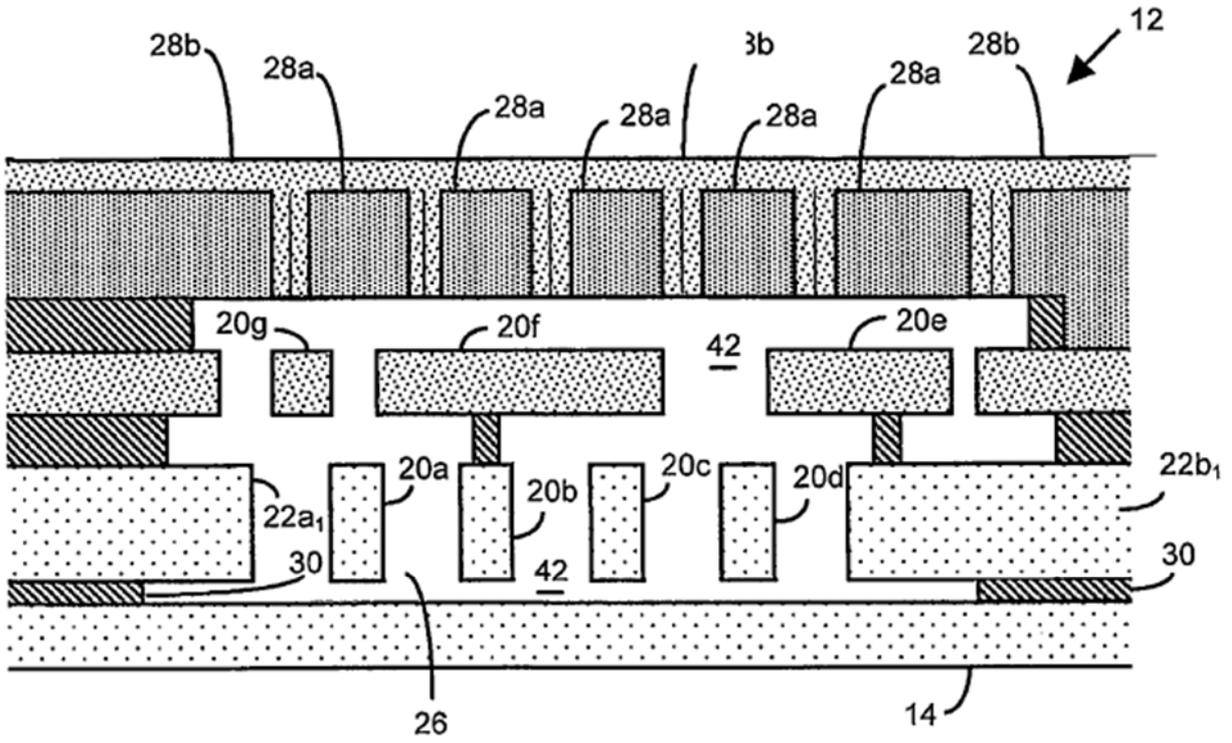


FIGURA 11B

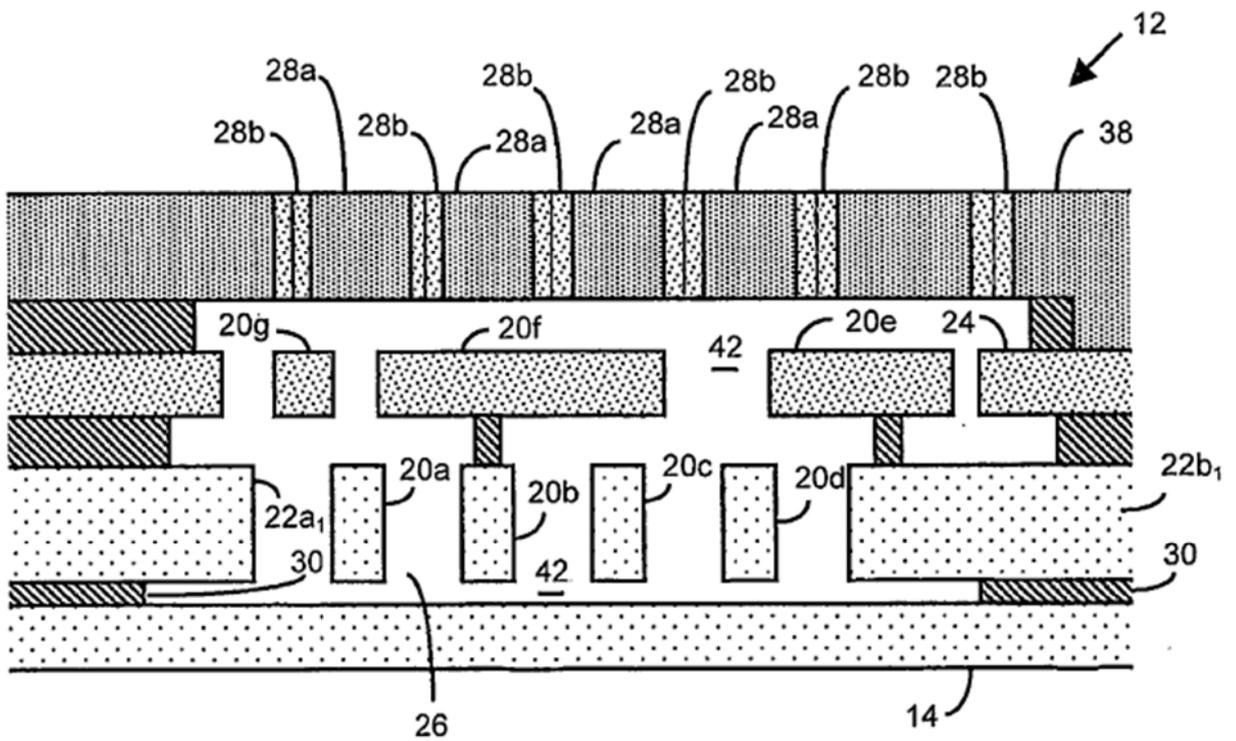


FIGURA 11C

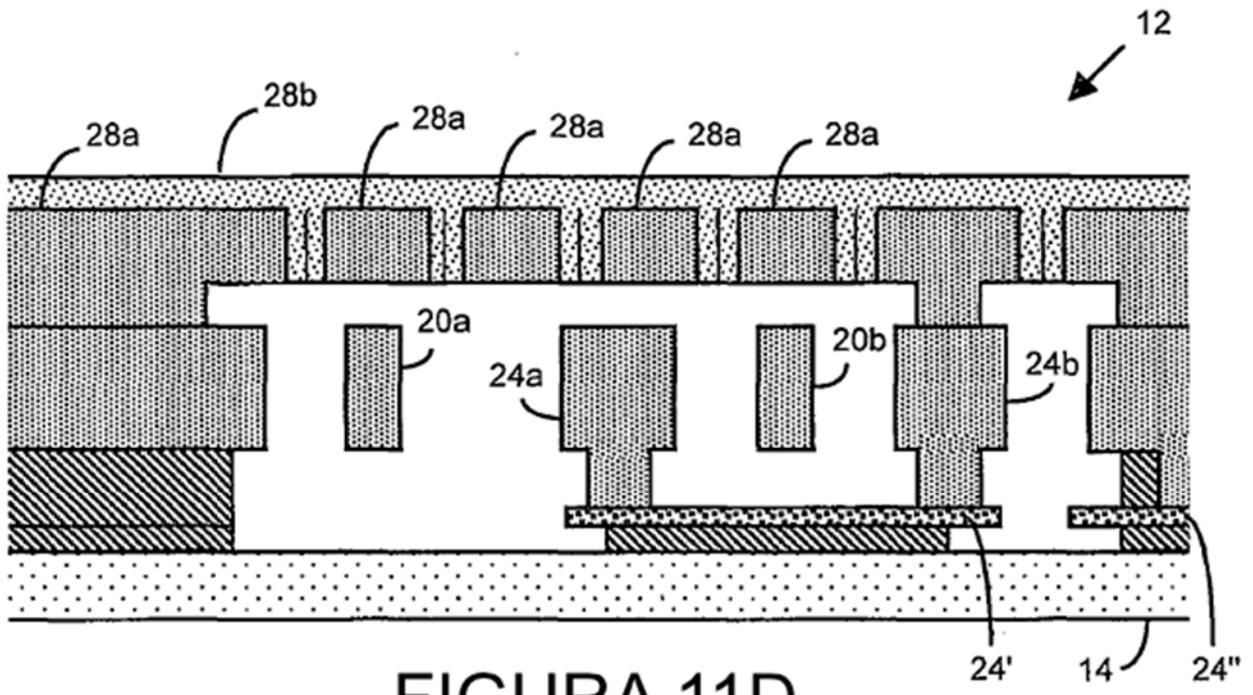


FIGURA 11D

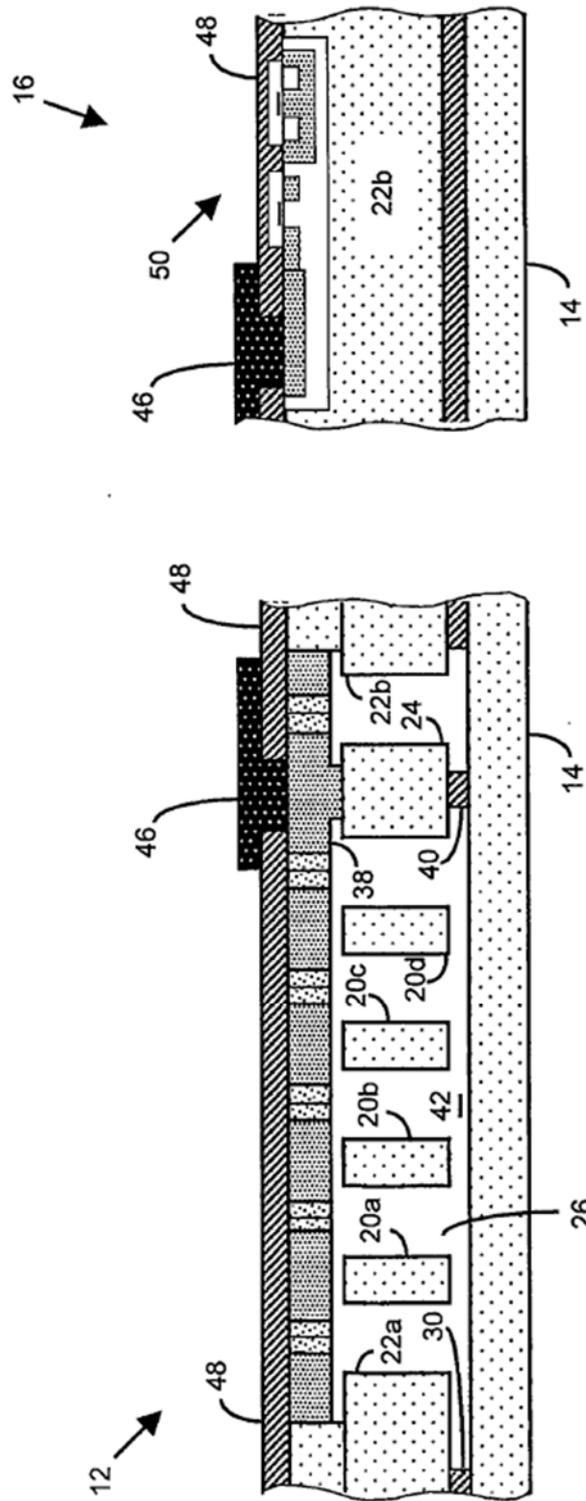


FIGURA 12A

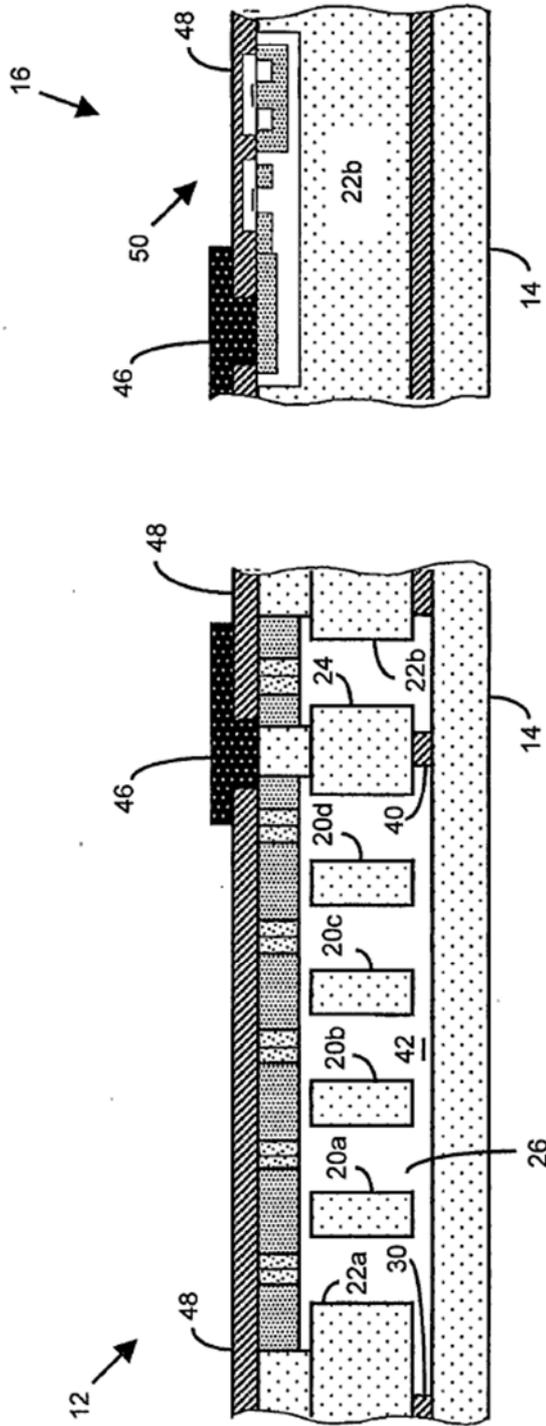


FIGURA 12B

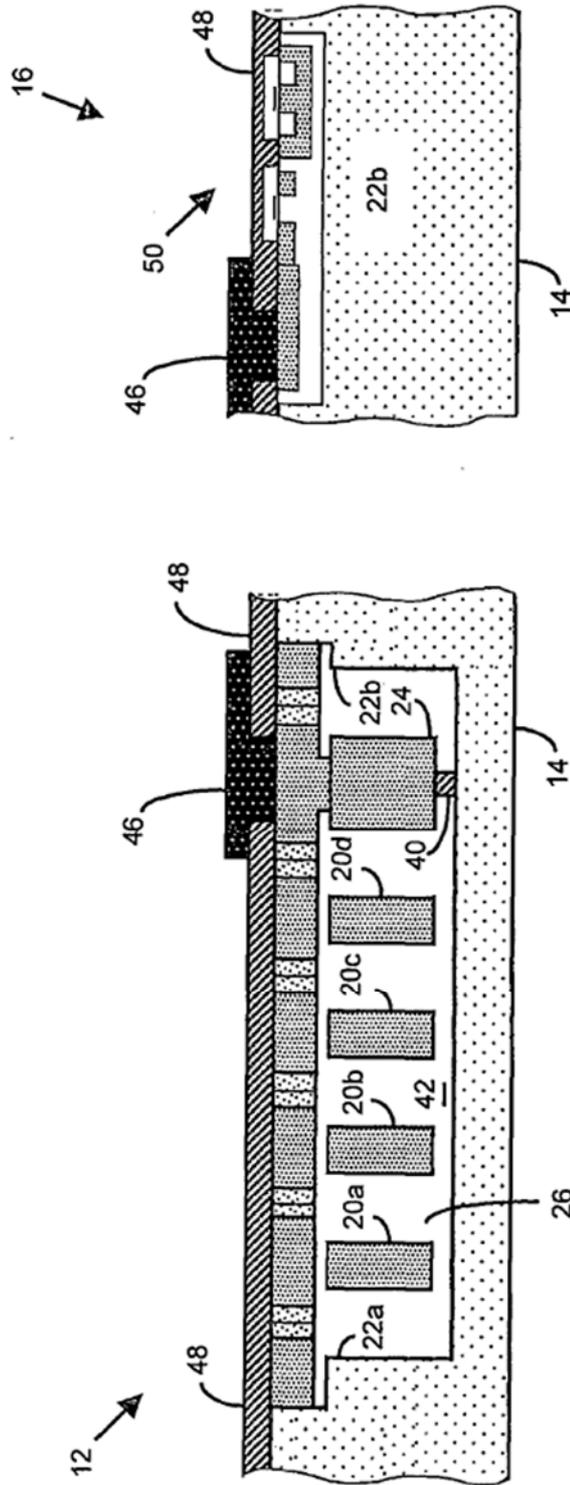


FIGURA 12C

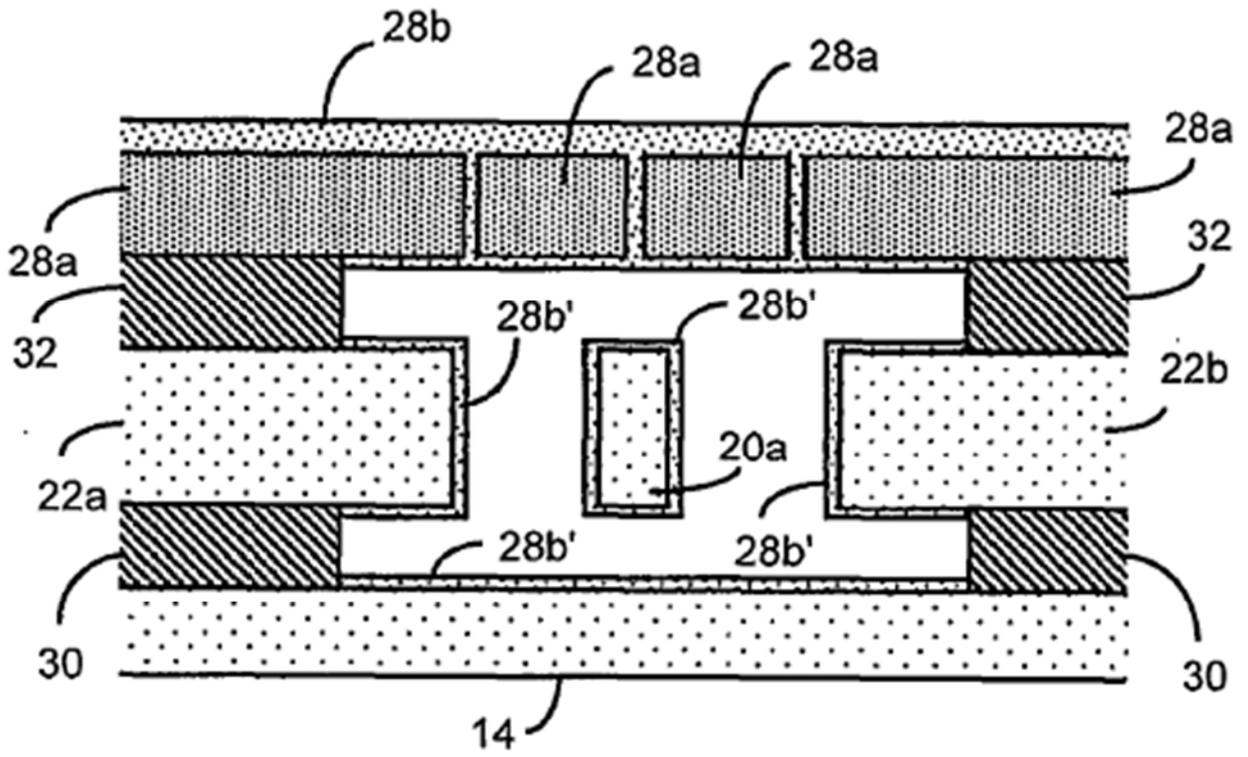


FIGURA 13