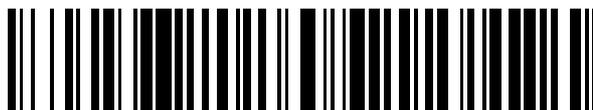


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 876**

51 Int. Cl.:

**H01L 43/08** (2006.01)

**G11C 11/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2009** **E 11186235 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015** **EP 2410588**

54 Título: **Estructura de unión túnel magnética**

30 Prioridad:

**04.03.2008 US 41957**

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

**14.07.2015**

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)**  
**5775 Morehouse Drive**  
**San Diego, CA 92121-1714, US y**  
**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)**

72 Inventor/es:

**LI, XIA**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 540 876 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

Estructura de unión túnel magnética

**I. Campo**

5 La presente divulgación se refiere, en general, a un dispositivo MTJ y a un procedimiento de formación de una estructura de unión túnel magnética (MTJ).

**II. Descripción de técnica relacionada**

10 En general, la adopción generalizada de dispositivos informáticos portátiles y dispositivos de comunicación inalámbrica ha aumentado la demanda de memoria no volátil de alta densidad y de bajo consumo. A medida que han mejorado las tecnologías de procesamiento, ha sido posible fabricar memorias de acceso aleatorio magnetorresistivas (MRAM) basadas en dispositivos de unión túnel magnética (MTJ). Los dispositivos tradicionales de unión túnel de espín par túnel (STT) se forman típicamente como estructuras de pilas planas. Tales dispositivos tiene típicamente células de unión túnel magnética (MTJ) bidimensionales con un único dominio magnético. Una célula MTJ incluye típicamente un electrodo inferior, una capa antiferromagnética, una capa fija (es decir, una capa de referencia formada a partir de un material ferromagnético que porta un campo magnético que tiene una orientación fija o anclada por una capa antiferromagnética (AF)), una capa barrera de túnel (es decir, una capa óxido de túnel), una capa libre (es decir, una segunda capa ferromagnética que porta un campo magnético que tiene una orientación cambiante), y un electrodo superior. La célula MTJ representa un valor de bit por un campo magnético inducido en la capa libre. Una dirección del campo magnético de la capa libre relativa a una dirección de un campo magnético fijo portado por la capa fija determina el valor de bit.

20 Típicamente, la célula de unión túnel magnética (MTJ) se forma depositando múltiples capas de material, definiendo un patrón sobre las capas, y retirando selectivamente porciones de las capas según el patrón. Las células MTJ convencionales se forman para mantener una relación de aspecto de longitud (a) respecto de la anchura (b) que es superior a uno para mantener una alineación magnética isotrópica. Convencionalmente, la relación de aspecto de las células MTJ se mantiene controlando una precisión del patrón de MTJ y llevando a cabo un proceso de foto-grabado MTJ. En un caso particular, se puede usar una máscara dura para transferir y definir el patrón MTJ con precisión. Desafortunadamente, la pila MTJ puede incluir películas magnéticas que son básicamente películas metálicas y que tienen una velocidad de grabado relativamente baja, por lo tanto la máscara dura puede necesitar ser relativamente gruesa. Para el control de dimensión crítica de patrón avanzado (CD), la película de patrón avanzado (APF) y el revestimiento anti-reflexión inferior (BARC) se incluyen capas en el proceso de foto-grabado MTJ. Sin embargo, mientras estas capas adicionales aumentan la complejidad del proceso (tanto en términos de procesos de deposición adicionales como en términos de procesos adicionales de foto-grabado y limpieza de capas), la estructura de célula MTJ puede experimentar erosión, lo cual puede dar como resultado una pendiente no deseada, un redondeado de esquinas, y una pérdida de película no deseada. Tales daños pueden tener un impacto sobre una Resistencia de contacto de la estructura MTJ y potencialmente incluso exponen o dañan la unión MTJ.

35 El documento US 2002/0153547 divulga un dispositivo semiconductor de memoria que incluye un primer elemento magnetorresistivo. El primer elemento magnetorresistivo incluye  $\epsilon$  primera capa magnética y una primera capa no magnética que se forma en una dirección perpendicular a un sustrato semiconductor.

40 El documento US 2006/081952 A divulga una célula MTJ que comprende una zanja, un electrodo inferior depositado dentro de la zanja para cubrir una superficie inferior y una superficie lateral de la zanja, una pila MTJ de capa fija, una capa barrera de túnel, y una capa libre depositadas sobre el electrodo inferior y un electrodo superior dentro de la zanja y acoplado a la pila MTJ. La célula es capaz de almacenar un solo bit en función de las orientaciones magnéticas relativas de las capas libres y ancladas.

**III. Sumario**

45 Según un aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo según la reivindicación 1.

50 En un ejemplo ilustrativo particular, se divulga un procedimiento para formar un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) que incluye formar una zanja en un sustrato. El procedimiento incluye además, depositar películas de unión túnel magnética (MTJ) dentro de la zanja. Las películas MTJ incluyen un electrodo inferior, una capa fija, una capa barrera de túnel, una capa libre, y un electrodo superior. El procedimiento también incluye aplanar la estructura MTJ. En un ejemplo particular, la estructura MTJ se aplanar usando un proceso de planarización químico-mecánica (CMP).

55 En otro ejemplo particular, se divulga un procedimiento para formar un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) que incluye definir una zanja en un sustrato y depositar películas de unión túnel magnética (MTJ) dentro de la zanja. El procedimiento también incluye retirar el exceso de material que no está directamente sobre la zanja usando una herramienta de foto-grabado de baja resolución y aplanar la estructura MTJ y el sustrato.

En otro ejemplo particular adicional, se divulga un procedimiento para formar un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) que incluye definir una zanja en un sustrato. El sustrato incluye un material semiconductor que tiene una capa dieléctrica intermedia y una capa de película de tapa, donde la zanja se extiende a través de la capa de película de tapa y dentro de la capa dieléctrica intermedia. El procedimiento incluye además, depositar un electrodo inferior dentro de la zanja y depositar películas MTJ sobre el electrodo inferior. Las películas MTJ incluyen una primera capa ferromagnética, una capa barrera de túnel, y una segunda capa ferromagnética. El procedimiento también incluye depositar un electrodo superior sobre las películas MTJ y pueden incluir la realización de un proceso inverso de foto-grabado de zanja y un proceso de Planarización químico-mecánica (CMP) sobre la estructura MTJ y el sustrato para producir una superficie sustancialmente plana.

Una ventaja particular provista por ejemplos de los procedimientos divulgados para formar una estructura de unión túnel magnética (MTJ) es la oxidación, la erosión y las dimensiones finas de la estructura MTJ sin foto-grabar la estructura MTJ. En general, la zanja se forma en un sustrato de base de óxido, que es más fácil de foto-grabar que las películas metálicas MTJ. Además, es más fácil foto-grabar con precisión el sustrato de base de óxido que las capas metálicas. En su lugar, se pueden usar un proceso inverso de foto-grabado de zanja y un proceso de Planarización químico-mecánica (CMP) para retirar exceso de material, sin introducir erosión, redondeado de esquinas u otros problemas que pueden tener impacto sobre el rendimiento de la estructura MTJ.

Se proporciona otra ventaja particular porque se mejora una ventana de procesamiento para la formación de estructuras MTJ, es decir, se aumenta, y la fiabilidad global del proceso MTJ y se mejora también la estructura MTJ resultante.

Otros aspectos, ventajas, y características de la presente divulgación se harán más evidentes después de revisar toda la solicitud, incluyendo las siguientes secciones: Breve descripción de los dibujos, Descripción detallada, y las Reivindicaciones.

#### IV. Breve descripción de los dibujos

FIG. 1 es un diagrama de un ejemplo representativo de una célula de unión túnel magnética (MTJ);

FIG. 2 es un diagrama de bloques de un dispositivo de circuito que incluye un ejemplo representativo of una célula de unión túnel magnética (MTJ) que incluye un electrodo superior, una pila MTJ, y un electrodo inferior;

FIG. 3 es una vista superior de un ejemplo ilustrativo particular de un dispositivo de circuito que incluye una células de unión túnel magnética (MTJ) que tiene una forma sustancialmente rectangular;

FIG. 4 es una vista en sección transversal del dispositivo de circuito de FIG. 3 tomada a lo largo de la línea 4-4 en FIG. 3;

FIG. 5 es una vista superior de una primera realización ilustrativa particular de un dispositivo de circuito según la presente invención, que incluye una célula de unión túnel magnética (MTJ) que tiene una forma sustancialmente elíptica;

FIG. 6 es una vista superior de una segunda realización ilustrativa particular de un dispositivo de circuito según la presente invención, que incluye una célula de unión túnel magnética (MTJ);

FIG. 7 es una vista en sección transversal del dispositivo de circuito de la FIG. 6 tomada a lo largo de la línea 7-7 en FIG. 6;

FIG. 8 es una vista superior de un ejemplo ilustrativo particular de un dispositivo de memoria que incluye un sustrato que tiene una célula de unión túnel magnética que está adaptada para almacenar múltiples bits;

FIG.9 es un diagrama en sección transversal del dispositivo de circuito de FIG. 8 tomado a lo largo de la línea 9-9 en FIG. 8;

FIG. 10 es un diagrama en sección transversal del dispositivo de circuito de la FIG. 8 tomado a lo largo de la línea 10-10 en FIG. 8;

FIG. 11 es una vista superior de otra realización ilustrativa particular de un dispositivo de memoria según la presente invención, que incluye un sustrato que tiene una célula de unión túnel magnética que está adaptada para almacenar múltiples bits;

FIG. 12 es un diagrama en sección transversal del dispositivo de circuito de la FIG. 11 tomado a lo largo de la línea 12-12 de la FIG. 11;

FIG. 13 es un diagrama en sección transversal del dispositivo de circuito de la FIG. 11 tomado a lo largo de la línea 13-13 de la FIG. 11;

FIG. 14 es una vista en sección transversal del sustrato de circuito después de la deposición de una capa de película de tapa y después de procesos de foto-grabado, de despojo de fotorresistencia, de llenado, y planarización químico-mecánica (CMP);

FIG. 15 es una vista en sección transversal del sustrato de circuito de FIG. 14 después de la deposición de capa dieléctrica intermedia, deposición de película de tapa, proceso de foto-grabado de zanja, depósito de electrodo inferior, deposición de películas de unión túnel magnética (MTJ), depósito de electrodo superior, y procesamiento inverso de foto-grabado;

FIG. 16 es una vista en sección transversal del sustrato de circuito de la FIG. 15 después del procesamiento de despojo inverso de fotorresistencia y MTJ CMP para detenerse en la capa de película de tapa;

FIG. 17 es una vista en sección transversal del sustrato de circuito de la FIG. 16 tomada a lo largo de la

línea 17-17 en la FIG. 16 después de hilar la fotorresistencia y después de foto-grabar para retirar una pared lateral de la pila MTJ que proporciona una abertura de procesamiento;

FIG. 18 es una vista en sección transversal del sustrato de circuito de la FIG. 17 después de llenar la abertura de procesamiento con material y óxido de hierro y una capa de procesamiento CMP en la capa de tapa;

FIG. 19 es una vista en sección transversal del sustrato de circuito de la FIG. 18 tomada a lo largo de la línea 19-19 en la FIG.18 después de la deposición de una primera capa de óxido de hierro, por procesamiento, y deposición de película metálica y el patrón de un terminal superior;

FIG. 20-21 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento para formar una célula de unión túnel magnética (MTJ);

FIG. 22 es un diagrama de flujo de un segundo procedimiento para formar una célula MTJ;

FIG. 23 es un diagrama de flujo de un tercer procedimiento para formar una célula MTJ;

FIG. 24 es un diagrama de flujo de un cuarto procedimiento para formar una célula MTJ; y

FIG. 25 es un diagrama de bloques de un dispositivo de comunicaciones inalámbricas representativo que incluye un dispositivo de memoria que tiene una pluralidad de células MTJ.

## V. Descripción detallada

La FIG. 1 es una vista en sección transversal de una porción de una célula de unión túnel magnética (MTJ) 100, que puede formarse según los ejemplos y realizaciones descritos respecto de las FIGS. 3-24. La célula MTJ 100 incluye una pila MTJ 102 que tiene una capa libre 104, una capa barrera de túnel 106, una capa fija (anclada) 108, y una capa antiferromagnética (AF) 126. La pila MTJ 102 está acoplada a una línea de líneas de bits 110. Además, la pila MTJ 102 está acoplada a una línea fuente 114 por un electrodo inferior 116 y un conmutador 118. Una línea de palabra 112 está acoplada a un terminal de control del conmutador 118 para activar selectivamente el conmutador 118 para permitir que una corriente de escritura 124 fluya desde la línea de bits 110 a la línea fuente 114. En los ejemplos mostrados, la capa fija 108 incluye un dominio magnético 122 que tiene una orientación fija. La capa libre 104 incluye un dominio magnético 120, que es programable por la corriente de escritura 124. Como se muestra, la corriente de escritura 124 se adapta para programar la orientación del dominio magnético 120 en la capa libre 104 en un estado cero (es decir, los dominios magnéticos 120 y 122 están orientados en la misma dirección). Para escribir un valor en la célula MTJ 100, la corriente de escritura 124 se invierte, haciendo que la orientación del dominio magnético 120 en la capa libre 104 invierta las direcciones, de manera que el dominio magnético 120 se extiende en una dirección opuesta a la del dominio magnético 122.

La FIG. 2 es una vista en sección transversal de otra célula MTJ 200, que incluye estructura de capas fijas sintéticas y que se puede formar según los ejemplos y realizaciones descritos respecto de las FIGS. 3-24. En particular, la célula MTJ 200 incluye una pila MTJ 202 que incluye la capa libre 204, la capa barrera de túnel 206 y la capa fija 208. La capa libre 204 de la pila MTJ está acoplada al electrodo superior 210 por una capa intermedia 230. En este ejemplo, la capa fija 208 de la pila MTJ 202 está acoplada al electrodo inferior 216 por una capa antiferromagnética 238. Además, la capa fija 208 incluye una primera capa anclada (fija) 236, una capa de mantequilla 234, y una segunda capa anclada (fija) 232. La primera y segunda capas ancladas 236 y 232 tienen dominios magnéticos respectivos que están orientados en direcciones opuestas en una estructura de capa fija sintética, aumentando de este modo una resistencia global y equilibrando el campo de dispersión magnético de la pila MTJ 202. En una realización particular, tal reducción de campo de dispersión puede equilibrar un campo magnético de la pila MTJ 202. Además, se pueden incluir capas, tales como una o más de capas de semillas; capas intermedias; capas de equilibrio de campo de dispersión; capas de conexión; capas de mejora de la eficiencia, tales como capas fijas sintéticas, capas libres de sintéticos (SyF9, o filtro doble giro (DSF); o cualquier combinación de las mismas.

La FIG. 3 es una vista superior de un ejemplo ilustrativo particular de un dispositivo de circuito 300 que incluye una célula de unión túnel magnética (MTJ) 304 que tiene una forma sustancialmente rectangular. El dispositivo de circuito 300 incluye un sustrato 302 que tiene la célula MTJ 304. La célula MTJ 304 incluye un electrodo inferior 306, una pila MTJ 308, un electrodo central 310, y una vía 312. La célula MTJ 304 tiene una primera pared lateral 314, una segunda pared lateral 316, una tercera pared lateral 318, y una cuarta pared lateral 320. La segunda pared lateral 316 incluye un segundo dominio magnético 322 para representar un primer valor de datos y la cuarta pared lateral 320 incluye un cuarto dominio magnético 324 para representar un segundo valor de datos. Una pared inferior (no mostrada) puede incluir un dominio magnético inferior 446 (véase la FIG. 4) para representar otro valor de datos. La primera y tercera paredes laterales 314 y 318 también puede portar dominios magnéticos, dependiendo de implementación particular.

La célula MTJ 304 tiene una longitud (a) y una anchura (b). La longitud (a) corresponde a la longitud de la segunda y cuarta paredes laterales 316 y 320. La anchura (b) corresponde a la longitud de la primera y tercera paredes laterales 314 y 318. En este ejemplo particular, la longitud (a) de la célula MTJ 304 es superior a la anchura (b).

La FIG. 4 es una vista en sección transversal 400 del dispositivo de circuito 300 de la FIG. 3 tomada a lo largo de la línea 4-4 en la FIG. 3. La vista 400 incluye el sustrato 302 mostrado en sección transversal que incluye la célula MTJ 304, la vía 312, el electrodo superior 310, la pila MTJ 308, y el electrodo inferior 306. El sustrato 302 incluye una primera capa dieléctrica intermedia 432, una primera capa de tapa 434, una segunda capa dieléctrica intermedia 436, una segunda capa de tapa 438, una tercera capa de tapa 440, y una tercera capa dieléctrica intermedia 442.

Se forma una zanja en la segunda capa de tapa 438 y la segunda capa dieléctrica intermedia 436 para recibir el electrodo inferior 306, la pila MTJ 308, y el electrodo superior 310. La zanja tiene una profundidad de zanja (d) y la pila MTJ 308 tiene una profundidad (c) que es aproximadamente igual a la profundidad de zanja (d) menos un espesor del electrodo inferior 306. Una vía inferior 444 se extiende a través de la primera capa de tapa 434 y la primera capa dieléctrica intermedia 432 y está acoplada al electrodo inferior 306. La vía 312 se extiende desde una superficie 430 del sustrato 302 a través de la tercera capa dieléctrica intermedia 442 y la tercera capa de tapa 440 y se acopla al electrodo superior 310. La superficie 430 puede ser una superficie sustancialmente plana.

La FIG. 5 es una vista superior de una primera realización ilustrativa particular de un dispositivo de circuito 500 según la presente invención, que incluye una célula de unión túnel magnética (MTJ) 504 que tiene una forma sustancialmente elíptica. El dispositivo de circuito 500 incluye un sustrato 502 que tiene la célula MTJ 504. La célula MTJ 504 incluye un electrodo inferior 506, una pila MTJ 508, un electrodo superior 510, y una vía 512 que se extiende desde una superficie (tal como la superficie 430 ilustrada en la FIG. 4) al electrodo superior 510. La célula MTJ 504 incluye una primera pared lateral 516 y una segunda pared lateral 518, que están adaptadas para portar dominios magnéticos independientes 522 y 524, respectivamente. Una orientación respectiva de cada uno de los dominios magnéticos independientes 522 y 524 puede representar un valor de datos respectivo. Además, la célula MTJ 504 puede incluir una pared inferior adaptada para portar otro dominio magnético independiente, tal como el dominio inferior 446 de la FIG. 4, que puede representar otro valor de datos.

La célula MTJ 504 incluye una longitud (a) y una anchura (b), donde la longitud (a) es superior a la anchura (b). En un ejemplo particular, la vista en sección transversal de la FIG. 4 puede también representar una sección transversal tomada a lo largo de la línea 4-4 en la FIG. 5. En este ejemplo, la célula MTJ 504 se puede formar dentro de una zanja que tiene una profundidad (d) de manera que la célula MTJ 504 tiene una profundidad (c), como se ilustra en la FIG. 4. En este ejemplo particular, la célula MTJ 504 se puede formar de manera que la longitud (a) es superior a la anchura (b) y la anchura (b) es muy superior a la profundidad de zanja (d) o la profundidad de célula MTJ (c). Alternativamente, en una realización, la célula MTJ 504 es forma de manera que la Célula MJT504 tiene una profundidad de zanja (d) que es superior a la profundidad de célula MTJ (c), que a su vez es superior a la longitud (a), como se ilustra en las FIG. 6 y 7.

La FIG. 6 es una vista superior de una segunda realización ilustrativa particular de un dispositivo de circuito 600 según la presente invención, que incluye una célula de unión túnel magnética (MTJ) 604. El dispositivo de circuito 600 incluye un sustrato 602 que tiene la célula MTJ 604. La célula MTJ 604 incluye un electrodo inferior 606, una pila MTJ 608, un electrodo central 610 y una vía 612. La célula MTJ 604 tiene una primera pared lateral 614, una segunda pared lateral 616, una tercera pared lateral 618, y una cuarta pared lateral 620. La segunda pared lateral 616 incluye un segundo dominio magnético 622 adaptado para representar un primer valor de datos y la cuarta pared lateral 620 incluye un cuarto dominio magnético 624 adaptado para representar un segundo valor de datos. Una pared inferior 770 puede incluir un dominio magnético inferior 772, como se ilustra en la FIG. 7. La primera y la tercera paredes laterales 614 y 618 pueden también portar dominios magnéticos, dependiendo de la implementación particular.

La célula MTJ 604 tiene una longitud (a) y una anchura (b). La longitud (a) corresponde a la longitud de la segunda y la cuarta paredes laterales 616 y 620. La anchura (b) corresponde a la longitud de la primera y la tercera paredes laterales 614 y 618. En este ejemplo particular, la longitud (a) de la célula MTJ 604 es superior a la anchura (b).

La FIG. 7 es una vista en sección transversal del dispositivo de circuito de la FIG. 6 tomada a lo largo de la línea 7-7 en la FIG. 6. La vista 700 incluye el sustrato 602 mostrado en sección transversal que incluye la célula MTJ 604, la vía 612, el electrodo superior 610, la pila MTJ 608, y el electrodo inferior 606. El sustrato 602 incluye una primera capa dieléctrica intermedia 732, una primera capa de tapa 734, una segunda capa dieléctrica intermedia 736, una segunda capa de tapa 738, una tercera capa de tapa 740, y una tercera capa dieléctrica intermedia 742.

Se forma una zanja en la segunda capa de tapa 738 y la segunda capa dieléctrica intermedia 736 para recibir el electrodo inferior 606, la pila MTJ 608, y el electrodo superior 610. La zanja tiene una profundidad de zanja (d) y la pila MTJ 608 tiene una profundidad (c) que es aproximadamente igual a la profundidad de zanja (d) menos un espesor del electrodo inferior 606. Una vía inferior 744 se extiende desde una superficie inferior 790 a través de la primera capa de tapa 734 y la primera capa dieléctrica intermedia 732 y está acoplada al electrodo inferior 606. La vía 612 se extiende desde una superficie superior 780 del sustrato 602 a través de la tercera capa dieléctrica intermedia 742 y la tercera capa de tapa 740 y está acoplada al electrodo superior 610. La superficie superior 780 puede ser una superficie sustancialmente plana.

La profundidad de zanja (d) es superior a la profundidad de célula MTJ (c), que son ambas superiores a la longitud (a) de la célula MTJ 604. Los dominios magnéticos 622 y 624 están orientados verticalmente (es decir, en una dirección de la profundidad (d) de las paredes laterales, opuestas horizontalmente en una dirección de la longitud (a) de las paredes laterales).

La FIG. 8 es una vista superior de un ejemplo ilustrativo particular de un dispositivo de memoria 800 que incluye un sustrato 802 que tiene una célula de unión túnel magnética (MTJ) 804 que está adaptada para almacenar está adaptada para almacenar múltiples bits de datos. La célula de unión túnel magnética (MTJ) 804 incluye un electrodo

inferior 806, una pila MTJ 808, y un electrodo central 810. La célula MTJ 804 tiene una longitud (a) y una anchura (b), donde la longitud (a) es superior a la anchura (b). El sustrato 802 incluye una vía superior 836 que está acoplada al electrodo central 810 e incluye una vía inferior 832 que está acoplada al electrodo inferior 806. El sustrato 802 también incluye un primer terminal 834 que está acoplado a la vía superior 836 y un segundo terminal 830 que está acoplado a la vía inferior 832. El sustrato 802 incluye una abertura de procesamiento 838.

La pila MTJ 808 incluye una capa magnética fija (anclada) que porta un dominio magnético fijo que tiene una orientación fija, una capa barrera de túnel, y a capa magnética libre que tiene un dominio magnético que se puede cambiar o programar mediante una corriente de escritura. La pila MTJ 808 puede también incluir una capa antiferromagnética para anclar la capa magnética fija. En un ejemplo particular, la capa magnética fija de la pila MTJ 808 puede incluir una o más capas. Además, la pila MTJ 808 puede incluir otras capas. La célula MTJ 804 incluye una primera pared lateral 812 para portar un primer dominio magnético 822, una segunda pared lateral 814 para portar un segundo dominio magnético 824, y una tercera pared lateral 816 para portar un tercer dominio magnético 826. La célula MTJ 804 también incluye una pared inferior 970 para portar un cuarto dominio magnético 972 (véase la FIG. 9). El primer, segundo, tercer, y cuarto dominios magnéticos 822, 824, 826, y 972 son independientes. En un ejemplo particular, el primer, segundo, tercer y cuarto dominios magnéticos 822, 824, 826, y 972 están configurados para representar valores de datos respectivos. En general, las orientaciones de los dominios magnéticos 822, 824, 826, y 972 están determinadas por el valor de datos almacenado. Por ejemplo, un valor "0" es representado por una primera orientación mientras que un valor "1" es representado por una segunda orientación.

La FIG. 9 es un diagrama en sección transversal 900 del dispositivo de circuito 800 de la FIG. 8 tomado a lo largo de la línea 9-9 en la FIG. 8. El diagrama 900 incluye el sustrato 802 que tiene una primera capa dieléctrica intermedia 950, una segunda capa dieléctrica intermedia 952, una primera capa de tapa 954, una tercera capa dieléctrica intermedia 956, una segunda capa de tapa 958, una tercera 5 capa de tapa 960, una cuarta capa dieléctrica intermedia 962, y una quinta capa dieléctrica intermedia 964. El sustrato 802 tiene una primera superficie 980 y una segunda superficie 990. El sustrato 802 también incluye la estructura MTJ 804 que incluye la pila MTJ 808. El electrodo inferior 806, 10 la pila MTJ 808, y el electrodo superior 810 están dispuestos dentro de una zanja en el sustrato 802. La zanja tiene una profundidad (d).

El sustrato 802 incluye el segundo terminal 830 dispuesto en la segunda superficie 990. El segundo terminal 830 está acoplado a la vía inferior 832, que se extiende desde el segundo terminal 830 hasta una porción del electrodo inferior 806. El sustrato 802 también incluye el primer terminal 834 dispuesto en la primera superficie 980. El primer terminal 834 está acoplado a la vía superior 836, que se extiende desde el primer terminal 834 al electrodo central 810. El electrodo central 810 está acoplado a la pila MTJ 808. El sustrato 802 también incluye la abertura de procesamiento 838, que se puede formar retirando selectivamente una porción de la estructura MTJ 804 y depositando un material dieléctrico intermedio dentro de la abertura de procesamiento 838, seguido de un óxido CMP.

En un ejemplo particular, la pila MTJ 808 incluye la segunda pared lateral 814, que porta el segundo dominio magnético 824. El segundo dominio magnético 824 está adaptado para representar un segundo valor de datos. La pila MTJ 808 también incluye una pared inferior 970 que tiene un dominio magnético inferior 972, que está adaptado para representar un cuarto valor de datos. En un ejemplo particular, un valor de datos puede ser leído a partir de la pila MTJ 808 aplicando una tensión al primer terminal 834 y comparando una corriente en el segundo terminal 830 con una corriente de referencia. Alternativamente, se puede escribir un valor de datos en la pila MTJ 808 aplicando una corriente de escritura a uno del primer y segundo terminales 834 y 830. En un ejemplo particular, la longitud (a) y la anchura (b) de la pila MTJ 808 ilustrada en la FIG. 8 son superiores a la profundidad de zanja (d), y el dominio magnético 824 portado por la segunda pared lateral 814 se extiende en una dirección que es sustancialmente paralela a la primera superficie 980 del sustrato 802 y en una dirección de la anchura (b) ilustrada en la FIG. 8. En esta vista particular, el dominio magnético 824 se extiende en una dirección que es ortogonal a la vista de página de la FIG. 9 (hacia fuera de la página como se indica mediante una punta de flecha ("\*")) o en la página como se indica mediante una cola de flecha ("\*\*")).

La FIG. 10 es un diagrama en sección transversal 1000 del dispositivo de circuito 800 de la FIG. 8 tomado a lo largo de la línea 10-10 en la FIG. 8. El diagrama 1000 incluye el sustrato 802 que tiene una primera capa dieléctrica intermedia 950, una segunda capa dieléctrica intermedia 952, una primera capa de tapa 954, una tercera capa dieléctrica intermedia 956, una segunda capa de tapa 958, una tercera capa de tapa 960, una cuarta capa dieléctrica intermedia 962, y una quinta capa dieléctrica intermedia 964. El sustrato 802 tiene una primera superficie 980 y una segunda superficie 990. El sustrato 802 incluye la estructura MTJ 804 que tiene el electrodo inferior 806, la pila MTJ 808, y el electrodo central 810. El sustrato 802 incluye el primer terminal 834 dispuesto y configurado en la primera superficie 980. El primer terminal 834 está acoplado a la vía superior 836, que se extiende desde el primer terminal 834 al electrodo central 810. El sustrato 802 también incluye el segundo terminal 830 en la segunda superficie 990. El segundo terminal 830 está acoplado a la vía inferior 832, que se extiende desde el segundo terminal 830 a la porción del electrodo inferior 806. La pila MTJ 808 incluye la primera pared lateral 816 para portar el primer dominio magnético 826, la tercera pared lateral 812 para portar el tercer dominio magnético 822, y la pared inferior 970 para portar el dominio magnético inferior 972. En esta vista particular, los dominios magnéticos 826, 822, y 972 se extienden en una dirección que es ortogonal a la vista de página of la FIG. 10 (hacia fuera de la página como se indica mediante la punta de flecha ("\*")) o en la página como se indica mediante una cola de flecha ("\*\*")).

En un ejemplo particular, la pila MTJ 808 está adaptada para almacenar hasta cuatro valores de datos únicos. Un primer valor de datos se puede representar mediante el primer dominio magnético 822, un segundo valor de datos se puede representar mediante el segundo dominio magnético 824, un tercer valor de datos se puede representar mediante el tercer dominio magnético 826, y un cuarto valor de datos se puede representar mediante el dominio magnético inferior 972. En otro ejemplo particular, se puede incluir una cuarta pared lateral para portar un cuarto dominio magnético, que puede representar un quinto valor de datos.

La FIG. 11 es una vista superior de una realización ilustrativa particular de un dispositivo de memoria 1100 según la presente invención, que incluye un sustrato 1102 con una célula de unión túnel magnética (MTJ) 1104 en un zanja profunda que está adaptada para almacenar múltiples valores de datos, tales como múltiples bits. La célula de unión túnel magnética (MTJ) 1104 incluye un electrodo inferior 1106, una pila MTJ 1108, y un electrodo central 1110. La célula MTJ 1104 tiene una longitud (a) y una anchura (b), donde la longitud (a) es superior a la anchura (b). El sustrato 1102 incluye una vía superior 1136 que está acoplada al electrodo central 1110 e incluye una vía inferior 1132 que está acoplada al electrodo inferior 1106. El sustrato 1102 también incluye un primer terminal 1134 que está acoplado a la vía inferior 1132 y un segundo terminal 1130 que está acoplado a la vía superior 1136. El sustrato 1102 incluye una abertura de procesamiento 1138.

La pila MTJ 1108 incluye una capa magnética fija (anclada) que puede estar anclada por una capa antiferromagnética y que porta un dominio magnético fijo que tiene una orientación fija, una capa barrera de túnel, y una capa magnética libre que tiene un dominio magnético que se puede cambiar o programar mediante una corriente de escritura. En una realización particular, la capa magnética fija de la pila MTJ 1108 puede incluir una o más capas. Además, la pila MTJ 1108 puede incluir otras capas. La célula MTJ 1104 incluye una primera pared lateral 1112 para portar un primer dominio magnético 1122, una segunda pared lateral 1114 para portar un segundo dominio magnético 1124, y una tercera pared lateral 1116 para portar un tercer dominio magnético 1126. La célula MTJ 1104 también incluye una pared inferior 1270 para portar un cuarto dominio magnético 1272 (véase la FIG. 12). El primer, segundo, tercer y cuarto dominios magnéticos 1122, 1124, 1126, y 1272 son independientes. En una realización particular, el primer, segundo, tercer y cuarto dominios magnéticos 1122, 1124, 1126, y 1272 están configurados para representar valores de datos respectivos. En general, las orientaciones de los dominios magnéticos 1122, 1124, 1126, y 1272 están determinados por el valor de datos almacenados. Por ejemplo, un valor "0" se representa mediante una primera orientación mientras que un valor "1" se representa mediante una segunda orientación.

La FIG. 12 es un diagrama en sección transversal 1200 del dispositivo de circuito 1100 de la FIG. 11 tomado a lo largo de la línea 12-12 en la FIG. 11. El diagrama 1200 incluye el sustrato 1102 que tiene una primera capa dieléctrica intermedia 1250, una segunda capa dieléctrica intermedia 1252, una primera capa de tapa 1254, una tercera capa dieléctrica intermedia 1256, una segunda capa de tapa 1258, una tercera capa de tapa 1260, una cuarta capa dieléctrica intermedia 1262, y una quinta capa dieléctrica intermedia 1264. El sustrato 1102 tiene una primera superficie 1280 y una segunda superficie 1290. El sustrato 1102 también incluye la estructura MTJ 1104 que incluye la pila MTJ 1108. El electrodo inferior 1106, la pila MTJ 1108, y el electrodo superior 1110 están dispuestos dentro de una zanja en el sustrato 1102. La zanja tiene una profundidad (d). En este caso, la profundidad (d) es superior a la anchura (b) de la pared lateral 1114.

El sustrato 1102 incluye el segundo terminal 1130 dispuesto y configurado en la primera superficie 1280. El segundo terminal 1130 está acoplado en la vía superior 1136, que se extiende desde el segundo terminal 1130 al electrodo central 1110. El electrodo central 1110 está acoplado a la pila MTJ 1108. El sustrato 1102 también incluye el primer terminal 1134 dispuesto en la segunda superficie 1290. El primer terminal 1134 está acoplado a la vía inferior 1132, que se extiende desde el primer terminal 1134 a una porción del electrodo inferior 1106. El sustrato 1102 incluye además, la abertura de procesamiento 1138, que se puede formar retirando selectivamente una porción de la pila MTJ 1108 y depositando un material dieléctrico intermedio dentro de la abertura de procesamiento 1138, seguido de un procesamiento de óxido CMP.

En una realización particular, la pila MTJ 1108 incluye la segunda pared lateral 1114, que porta el segundo dominio magnético 1124. El segundo dominio magnético 1124 está adaptado para representar un segundo valor de datos. La pila MTJ 1108 también incluye una pared inferior 1270 que tiene un dominio magnético inferior 1272, que está adaptado para representar un cuarto valor de datos. En un ejemplo particular, un valor de datos puede ser leído a partir de la pila MTJ 1108 aplicando una tensión al segundo terminal 1130 y comparando una corriente en el primer terminal 1134 con una corriente de referencia. Alternativamente, un valor de datos puede ser escrito en una pila MTJ 1108 aplicando una corriente de escritura entre el primer y el segundo terminales 1134 y 1130. En una realización particular, la longitud (a) y la anchura (b) de la pila MTJ 1108 ilustrada en la FIG. 11 son menores que la profundidad de zanja (d), y el dominio magnético 1124 portado por la segunda pared lateral 1114 se extiende en una dirección que es sustancialmente perpendicular a la primera superficie 1280 del sustrato 1102 y en una dirección de la profundidad (d).

La FIG. 13 es una sección transversal al diagrama 1300 del dispositivo de circuito 1100 de la FIG. 11 tomado a lo largo de la línea 13-13 en la FIG. 11. El diagrama 1300 incluye el sustrato 1102 que tiene una primera capa dieléctrica intermedia 1250, una segunda capa dieléctrica intermedia 1252, una primera capa de tapa 1254, una tercera capa dieléctrica intermedia 1256, una segunda capa de tapa 1258, una tercera capa de tapa 1260, una cuarta

capa dieléctrica intermedia 1262, y una quinta capa dieléctrica intermedia 1264. El sustrato 1102 tiene una primera superficie 1280 y una segunda superficie 1290. El sustrato 1102 incluye la estructura MTJ 1104 que tiene el electrodo inferior 1106, la pila MTJ 1108, y el electrodo central 1110. El sustrato 1102 incluye el primer terminal 1134 dispuesto y configurado en la segunda superficie 1290. El primer terminal 1134 está acoplado a la vía inferior 1132, que se extiende desde el primer terminal 1134 a una porción del electrodo inferior 1106. El sustrato 1102 también incluye el segundo terminal 1130 en la primera superficie 1280. El segundo terminal 1130 está acoplado a la vía superior 1136, que se extiende desde el segundo terminal 1130 al electrodo central 1110.

La pila MTJ 1108 incluye la primera pared lateral 1116 para portar el primer dominio magnético 1126, la tercera pared lateral 1112 para portar el tercer dominio magnético 1122, y la pared inferior 1270 para portar el dominio magnético inferior 1272. En esta vista particular, la profundidad de zanja (d) es superior a la longitud (a) y la anchura (b) de la pila MTJ 1108, y el primer y tercer dominio magnéticos 1122 y 1126 se extienden en una dirección que es sustancialmente perpendicular a la primera superficie 1280. La longitud (a) es superior a la anchura (b) de la pila MTJ 1108, y el cuarto dominio magnético 1172 se extiende en una dirección que es sustancialmente ortogonal a la vista de página (hacia fuera desde la página como se indica mediante una cabeza de flecha ("\*") o en la página como se indica mediante una cola de flecha ("\*\*")).

En una realización particular, la pila MTJ 1108 se adapta para almacenar hasta cuatro valores únicos de datos. Un primer valor de datos puede ser representado por el primer dominio magnético 1122, un segundo valor de datos puede ser representado por el segundo dominio magnético 1124, un tercer valor de datos se puede representar mediante el tercer dominio magnético 1126, y un cuarto valor de datos se puede representar mediante el dominio magnético inferior 1272. En otra realización particular, una cuarta pared lateral puede ser incluida para portar un cuarto dominio magnético, que puede representar un quinto valor de datos.

La FIG. 14 es una vista en sección transversal de un sustrato de circuito 1400 después de la deposición de una capa de película de tapa y después del foto-grabado de vía, despojo de fotorresistencia, relleno de vía, y la planarización de vía y procesos químico-mecánicos (CMP). El sustrato de circuito 1400 incluye una primera capa dieléctrica intermedia 1401, y un terminal 1403, una segunda capa dieléctrica intermedia 1402 dispuesta en la parte superior de la primera capa dieléctrica intermedia 1401, y una capa de película de tapa 1404 dispuesta en la parte superior de la capa dieléctrica intermedia 1402. En una realización particular, se aplicó una capa fotorresistiva hilando la fotorresistencia sobre la capa de película de tapa 1404. Un proceso de foto-grabado se aplicó para definir un patrón en la capa de tapa 1404 y la capa dieléctrica intermedia 1402 por la capa fotorresistiva. La capa fotorresistiva se despoja después del grabado para exponer una abertura o vía 1406 a través de la capa de película de tapa 1404 y la capa dieléctrica intermedia 1402. Un material conductor o material de relleno de vía 1408 se depositó dentro de la abertura 1406, y un proceso de vía CMP se llevó a cabo para aplanar el sustrato de circuito 1400.

La FIG. 15 es una vista en sección transversal 1500 del sustrato de circuito 1400 de la FIG. 14 después de la deposición de capa dieléctrica intermedia, deposición de película de tapa, proceso de foto-grabado, despojo de fotorresistencia de zanja, depósito de electrodo inferior, depósito de películas de unión túnel magnética (MTJ), depósito de electrodo superior, y procesamiento de foto-grabado inverso. El sustrato de circuito 1400 incluye la primera capa dieléctrica intermedia 1401, y un terminal 1403, la segunda capa dieléctrica intermedia 1402, la capa de película de tapa 1404, and el material de relleno de vía 1408. Una tercera capa dieléctrica intermedia 1510 se deposita sobre la capa de película de tapa 1404. Una segunda capa de película de tapa 1512 se deposita sobre la tercera capa dieléctrica intermedia 1510. Una zanja 1514 se define dentro de la capa de película de tapa 1512 y la tercera capa dieléctrica intermedia 1510, por ejemplo llevando a cabo una zanja foto-grabado y un proceso de limpieza. Una célula de unión túnel magnética (MTJ) 1516 se deposita dentro de la zanja 1514. La célula MTJ 1516 incluye un electrodo inferior 1518 que está acoplado al material de relleno de vía inferior 1408, una pila MTJ 1520 acoplada al electrodo inferior 1518, y un electrodo superior 1522 acoplado a la pila MTJ 1520. Una capa fotorresistente 1524 está configurada sobre el electrodo superior 1522. Un proceso de foto-grabado inverso se aplica a la capa fotorresistente 1524, el electrodo superior 1522, la pila MTJ 1520, y el electrodo inferior 1518 para retirar el exceso de material que no está dentro de la zanja 1514.

En este ejemplo particular, la zanja 1514 se define para tener una profundidad de zanja (d). El espesor del electrodo inferior 1518 define una profundidad de célula MTJ relativa (c). En un ejemplo particular, la profundidad de célula MTJ (c) es aproximadamente igual a la profundidad de zanja (d) menos el espesor del electrodo inferior 1518.

En general, fabricando la célula MTJ 1516 dentro de la zanja 1514, las dimensiones de la zanja 1514 definen las dimensiones de la célula MTJ 1516. Además, puesto que la zanja 1514 define las dimensiones de la célula MTJ 1516, la célula MTJ 1516 se puede formar sin llevar a cabo un proceso de fotograbado crítico y costoso sobre la célula MTJ 1516, reduciendo de este modo la oxidación, redondeo de esquinas y otros problemas relacionados con la erosión respecto de la célula MTJ 1516.

La FIG. 16 es una vista en sección transversal 1600 del sustrato de circuito 1400 de la FIG. 15 después del despojo de fotorresistencia inversa y el procesamiento CMP de MTJ para detenerse en la película de la capa de tapa. El sustrato de circuito 1400 incluye la primera capa dieléctrica intermedia 1401, el terminal 1403, la segunda capa dieléctrica intermedia 1402, y la primera capa de tapa 1404. La vista 1600 incluye la segunda capa dieléctrica intermedia 1510, la segunda capa de tapa 1512 y la estructura MTJ 1516. La estructura MTJ 1516 tiene una

profundidad de célula MTJ (d) y se forma dentro de una zanja 1514 que tiene una profundidad de zanja (d). La estructura MTJ 1516 incluye un electrodo inferior 1518 que está acoplado a un material de relleno de vía 1408, una pila MTJ 1520, y un electrodo superior 1522. Un proceso de despojo de fotorresistencia se aplica, y un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) MTJ se aplica para retirar porciones de la estructura MTJ 1516 para producir una superficie sustancialmente plana 1630. El proceso CMP se detiene en la segunda capa de película de tapa 1512.

La FIG. 17 es una vista en sección transversal 1700 del sustrato de circuito 1400 de la FIG. 16 tomada a lo largo de la línea 17-17 en la FIG. 16, después de hilar configurar la fotorresistencia, y se lleva a cabo un grabado de pared lateral MTJ. El sustrato de circuito 1400 incluye la primera capa dieléctrica intermedia 1401, el terminal 1403, la segunda capa dieléctrica intermedia 1402, la primera capa de película de tapa 1404, y un material de relleno de vía 1408. La tercera capa dieléctrica intermedia 1510 y la segunda capa de tapa 1512 se depositan sobre la segunda capa de película de tapa 1404. Se define una zanja 1514 en la segunda capa de tapa 1512 y la segunda capa dieléctrica intermedia 1510. El electrodo inferior 1518, la pila MTJ 1520, y el electrodo superior 1522 se forman dentro de la zanja 1514. Se aplica un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) para producir una superficie sustancialmente plana 1630. Se hila una capa fotorresistente y se define un abertura de patrón de procesamiento 1752 usando un proceso de foto-grabado. El proceso de foto-grabado retira una pared lateral de la célula MTJ 1516, dando como resultado una célula sustancialmente en forma de U MTJ 1516 (desde una vista superior).

La FIG. 18 es una vista en sección transversal 1800 del sustrato de circuito 1400 ilustrado en la FIG. 17 después de la deposición de material dieléctrico intermedio dentro de la abertura de procesamiento 1752, después de llevar a cabo un Proceso de planarización químico-mecánica (CMP), y después de depositar una tercera capa de tapa 1744. El sustrato de circuito 1400 incluye la primera capa dieléctrica intermedia 1401, el terminal 1403, la segunda capa dieléctrica intermedia 1402, la primera capa de película de tapa 1404, y un material de relleno de vía 1408. La tercera capa dieléctrica intermedia 1510 y la segunda capa de tapa 1512 se depositan sobre la primera capa de película de tapa 1404. Se define una zanja 1514 en la segunda capa de tapa 1512 y la segunda capa dieléctrica intermedia 1510. El electrodo inferior 1518, la pila MTJ 1520, y el electrodo superior 1522 se forman dentro de la zanja 1514. Un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) se aplica para restaurar la superficie sustancialmente plana 1630. Una abertura de procesamiento 1752 se define usando un proceso de foto-grabado. El proceso de foto-grabado retira una pared lateral de la célula MTJ 1516, dando como resultado una célula sustancialmente en forma de U MTJ 1516 (desde una vista superior). La abertura de procesamiento 1752 se rellena con un material dieléctrico intermedio 1848; se lleva a cabo un proceso CMP para restaurar la superficie sustancialmente plana 1630, y la tercera capa de tapa 1744 se deposita sobre la superficie sustancialmente plana 1630.

La FIG. 19 es una vista en sección transversal 1900 del sustrato de circuito 1400, que se puede acoplar a otros circuitos. El sustrato de circuito 1400 incluye la primera capa dieléctrica intermedia 1401, el terminal 1403, la segunda capa dieléctrica intermedia 1402, la primera película de capa de tapa 1404, y un material de relleno de vía 1408. La tercera capa dieléctrica intermedia 1510 y la segunda capa de tapa 1512 se depositan sobre la primera capa de película de tapa 1404. Se define una zanja 1514 en la segunda capa de tapa 1512 y la segunda capa dieléctrica intermedia 1510. El electrodo inferior 1518, la pila MTJ 1520, y el electrodo superior 1522 se forman dentro de la zanja 1514. Un Proceso de planarización químico-mecánica (CMP) se aplica para restaurar la superficie sustancialmente plana 1630. Se deposita una tercera capa de tapa 1744 y una cuarta capa dieléctrica intermedia 1746. Un proceso de foto-grabado se aplica para definir una vía 1960 a través de la cuarta capa dieléctrica intermedia 1746 y la tercera capa de tapa 1744. La vía 1960 se rellena con material conductor y se aplica un proceso de planarización químico-mecánica de vía. Se deposita un terminal metálico 1962 y se configura sobre la cuarta capa dieléctrica intermedia 1746 y se deposita una quinta capa dieléctrica intermedia 1948. Si se usa un proceso de damasquinado, la vía e hilo metálico se pueden combinar la configuración de zanja, encobrado, encobrado, y CMP de cobre en la quinta capa dieléctrica intermedia 1948 y la cuarta capa dieléctrica intermedia 1746. En una realización particular, se lleva a cabo otro proceso de planarización químico-mecánica para aplanar el dispositivo de circuito. En este estadio, el terminal 1403 y el terminal 1962 se pueden acoplar a otros circuitos, y la célula MTJ 1516 se puede usar para almacenar uno o más valores de datos.

La FIG. 20 es un diagrama de flujo de una realización ilustrativa particular de un procedimiento para formar una célula de unión túnel magnética (MTJ). En 2002, una película de tapa se deposita sobre una capa dieléctrica intermedia de un sustrato. Avanzando a 2004, se define una vía usando un proceso de foto-grabado, un proceso de despojo de fotorresistencia, y un proceso de limpieza. Siguiendo a 2006, la vía o abertura se lleva con material conductor y un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) de vía se lleva a cabo sobre el sustrato para retirar el exceso de material conductor. Yendo a 2008, se deposita una capa dieléctrica intermedia (IDL) y una capa de película de tapa. Siguiendo a 2010, se define una zanja por foto-grabado, despojo de una fotorresistencia, y limpieza.

Siguiendo hasta 2012, se deposita un electrodo inferior. Siguiendo hasta 2014, se depositan múltiples capas de película de unión túnel magnética (MTJ), incluyendo capas de película magnética y de barrera de túnel capas, para formar una pila de unión túnel magnética (MTJ). Siguiendo hasta 2016, se deposita un electrodo superior sobre la pila MTJ para formar una célula MTJ. Yendo hasta 2018, se lleva a cabo un proceso inverso de foto-grabado de zanja para retirar el exceso de material que no está directamente sobre la zanja. At 2020, la fotorresistencia se

despoja y se lleva a cabo un MTJ Proceso de planarización químico-mecánica (CMP) de MTJ para retirar el exceso de material, deteniéndose en la capa de película de tapa. Siguiendo hasta 2022, la pila MTJ se foto-graba para retirar una pared lateral de la pila MTJ. En una realización particular, el foto-grabado de la pila MTJ define una ventana o abertura de procesamiento. El procedimiento progresa hasta 2024.

- 5 Volviendo a la FIG. 21, at 2024, el procedimiento avanza hasta 2126 y una fotorresistencia es despojada, se deposita una capa dieléctrica intermedia, se lleva a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) de óxido, y se deposita una capa de película de tapa. Yendo a2128, se lleva a cabo un proceso de proceso de recocido magnético sobre la pila MTJ para recocer la capa magnética fija en una dirección horizontal X e Y (para una zanja superficial) o en una dirección horizontal X y un dirección vertical Z (para una zanja profunda). Siguiendo hasta 2130, se depositan una capa dieléctrica intermedia y una capa de película de tapa. Siguiendo hasta 2132, a se fotografa y se llena la vía y se lleva a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) de vía. Avanzando hasta 2134, se define un hilo metálico depositando una capa metálica y foto-grabando la capa para formar el terminal o formando una zanja, foto-grabando y enchapando y llevando a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP). Si se usa un proceso de damasquinado, el procesamiento de vía en 2132 y el procesamiento de hilo metálico en 2134 se pueden combinar como foto-grabado definido de zanja, despojada de fotorresistencia, encobrado, y proceso CMP de cobre. El procedimiento termina en 2136.

La FIG. 22 es un diagrama de flujo de una segunda realización particular de un procedimiento para formar una estructura de unión túnel magnética (MTJ). El procedimiento incluye generalmente formar una zanja en un sustrato, depositar una estructura MTJ dentro de la zanja, y aplanar la estructura MTJ sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ. En 2202, una película de tapa se deposita sobre una capa dieléctrica intermedia de un sustrato. Avanzando a 2204, se define una vía usando un proceso de foto-grabado, un proceso de despojo de fotorresistencia, y un proceso de limpieza sobre las capas de película de tapa y dieléctrica intermedia. Siguiendo a 2206, se deposita material conductor dentro de la vía y se lleva a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) para aplanar el sustrato. Yendo a 2208, se puede depositar una capa de película ILD y una capa de película de tapa. Siguiendo hasta 2210, se define una zanja en el sustrato. La zanja tiene dimensiones que determinan la estructura MTJ sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ.

Siguiendo hasta 2212, después de formar una zanja en el sustrato, se deposita una estructura de unión túnel magnética (MTJ) dentro de la zanja. La estructura MTJ incluye un electrodo inferior, una capa fija, una capa barrera de túnel, una capa libre, y un electrodo superior. La estructura MTJ puede también incluir una capa antiferromagnética entre el electrodo inferior y la capa fija. Capas adicionales pueden también aplicarse, por ejemplo, una capa de semillas, una capa intermedia, una capa espaciadora, u otras capas.

Avanzando hasta 2214, un proceso de foto-grabado de zanja inverso se puede aplicar para retirar material que no está directamente sobre la zanja. Yendo a 2216, la estructura MTJ se aplanan sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ. Por ejemplo, no se lleva a cabo un proceso de foto-grabado crítico costoso sobre la estructura MT. Aplanar la estructura MTJ puede incluir llevar a cabo un proceso CMP para retirar el exceso de material. El material depositado puede ser eliminado del sustrato para definir una superficie sustancialmente plana.

Continuando hasta 2218, se puede llevar a cabo un proceso de recocido magnético para definir una orientación de un campo magnético portado por la capa fija. El proceso de recocido magnético puede ser un proceso de recocido tridimensional (3D). Todas las capas MTJ se pueden cocer por el proceso de recocido magnético, anclar la capa fija mientras se permite que capa libre sea modificable por una corriente de escritura. El procedimiento termina en 2220.

La FIG. 23 es un diagrama de flujo de una tercera realización particular de un procedimiento para formar una estructura de unión túnel magnética (MTJ). En 2302, se define una zanja en un sustrato. El sustrato puede incluir una capa dieléctrica intermedia y una capa de película de tapa. Siguiendo hasta 2304-2314, se deposita una estructura MTJ dentro de la zanja. Depositar la estructura MTJ puede incluir: depositar un electrodo inferior dentro de la zanja, en 2304; depositar una capa antiferromagnética sobre el electrodo inferior, en 2306; depositar una primera capa magnética sobre la capa antiferromagnética, en 2308; depositar un material de óxido metálico para formar una barrera de túnel, tal como, por ejemplo, MgO o A10, en 2310; depositar una segunda capa magnética sobre la barrera de túnel, at 2312; y depositar un electrodo superior sobre la segunda capa magnética, en 2314.

Siguiendo hasta 2316, el exceso de material que no está directamente sobre la zanja se retira usando un proceso de foto-grabado de baja resolución. Avanzando hasta 2318, la estructura MTJ y el sustrato se aplanan. El aplanado de la estructura MTJ y el sustrato puede incluir llevar a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) para retirar el exceso de material de la estructura MTJ y detenerse en la capa de película de tapa. Se puede llevar a cabo un proceso CMP sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ. Por ejemplo, un proceso de foto-grabado crítico/costoso puede no ser llevado a cabo en la estructura MTJ.

55 Continuando hasta 2320, se lleva a cabo un proceso de recocido magnético sobre una capa seleccionada para fijar una orientación de un campo magnético, incluyendo la capa seleccionada un capa fija. El proceso de recocido magnético puede ser un proceso de recocido tridimensional (3D). Múltiples capas MTJ pueden ser cocidas por el proceso de recocido magnético, anclando la capa fija mientras se permite que la capa libre sea modificable por una corriente de escritura. Yendo a 2322, se forman al menos dos conexiones eléctricas a la estructura MTJ. El

procedimiento termina en 2324.

La FIG. 24 es un diagrama de flujo de una cuarta realización particular de un procedimiento para formar una estructura de unión túnel magnética (MTJ). En 2402, se define una zanja en un sustrato, incluyendo el sustrato un material semiconductor que tiene una capa dieléctrica intermedia y una capa de película de tapa, donde la zanja se extiende a través de la capa de película de tapa y dentro de la capa dieléctrica intermedia. La zanja puede definir una forma de la estructura MTJ. La zanja puede tener una forma sustancialmente elíptica, una forma sustancialmente rectangular, o una forma alternativa. Siguiendo hasta 2404, se deposita un electrodo inferior dentro de la zanja. Yendo a 2406, se deposita una estructura MTJ sobre el electrodo inferior, incluyendo la estructura MTJ una primera capa ferromagnética, una capa barrera de túnel, y una segunda capa ferromagnética. La estructura MTJ puede también incluir otras capas, tales como una capa antiferromagnética entre el electrodo inferior y la primera capa ferromagnética. Siguiendo hasta 2408, se deposita un electrodo superior sobre la estructura MTJ.

Continuando hasta 2410, se llevan a cabo un proceso de foto-grabado de zanja inverso y un proceso de planarización sobre la estructura MTJ y el sustrato para producir una superficie sustancialmente plana. Llevar a cabo el proceso de planarización puede incluir llevar a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) sobre la estructura MTJ y el sustrato. La estructura MTJ puede de este modo usarse sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ que puede ser crítico o costoso. El procedimiento termina en 2412.

La FIG. 25 es un diagrama de bloques de un dispositivo de comunicación inalámbrica representativo 2500 que incluye un dispositivo de memoria que tiene una pluralidad de células MTJ. El dispositivo de comunicación 2500 incluye una matriz de memoria de células MTJ 2532 y una memoria de acceso aleatorio magnetorresistiva (MRAM) que incluye una matriz de células MTJ 2566, que están acopladas a un procesador, tal como un procesador de señales digitales (DSP) 2510. El dispositivo de comunicación 2500 también incluye un dispositivo de memoria cache de células MTJ 2564 que está acoplado al DSP 2510. El dispositivo de memoria cache de células MTJ 2564, la matriz de memoria de células MTJ2532 y el dispositivo MRAM que incluye múltiples células MTJ2566 pueden incluir células MTJ formadas según un proceso, como se describe respecto de las FIG. 3-24.

La FIG. 25 también muestra un controlador de visualización 2526 que está acoplado al procesador de señales digitales 2510 y a una pantalla de visualización 2528. A codificador/decodificador (CODEC) 2534 también puede acoplarse al procesador de señales digitales 2510. Un altavoz 2536 y un micrófono 2538 se pueden acoplar al CODEC 2534.

La FIG. 25 también indica que un controlador inalámbrico 2540 se puede acoplar al procesador de señales digitales 2510 y a una antena inalámbrica 2542. En una realización particular, se acoplan un dispositivo de entrada 2530 y una fuente de alimentación 2544 al sistema en chip 2522. Además, en una realización particular, como se ilustra en la FIG. 25, la pantalla de visualización 2528, el dispositivo de entrada 2530, el altavoz 2536, el micrófono 2538, la antena inalámbrica 2542, y la fuente de alimentación 2544 son externos al sistema en chip 2522. Sin embargo, cada uno puede acoplarse a un componente del sistema en chip 2522, tal como una interfaz o un controlador.

El experto en la técnica apreciará además que los diversos bloques lógicos, configuraciones, módulos, circuitos, y pasos de algoritmos ilustrativos descritos en relación con las realizaciones divulgadas en el presente documento se pueden implementar como hardware electrónico, software de ordenador, o combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, se han descrito varios componentes, bloques, configuraciones, módulos, circuitos, y pasos ilustrativos se han descrito anteriormente generalmente en términos de su funcionalidad. Si tal funcionalidad se implementa como hardware o software depende de los limitaciones de aplicación y diseño particulares impuestas en el sistema global. El experto en la técnica puede implementar la funcionalidad descrita de varias maneras para cada aplicación particular, pero tales decisiones de implementación no deberían interpretarse como causantes de una salida del ámbito de la presente divulgación.

La descripción anterior de las realizaciones divulgadas se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use las realizaciones divulgadas. Varias modificaciones a estas realizaciones será evidentes para el experto en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento se pueden aplicar a otras realizaciones sin salirse del ámbito de las reivindicaciones anexas. De este modo la presente divulgación no está destinada a limitarse a las realizaciones mostradas en el presente documento sino que se concede el mayor alcance posible coherente con los principios y las características de novedad definidas por las reivindicaciones anexas.

Las etapas de un procedimiento o algoritmo descritas en relación con las realizaciones divulgadas en el presente documento se pueden materializar directamente en hardware, en un módulo de software module ejecutado por un procesador, o en una combinación de ambos. Un módulo de software puede residir en memoria RAM, memoria ultrarrápida, memoria ROM, memoria PROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, disco duro, un disco removible, un CD-ROM, o cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocido en la técnica. Un medio de almacenamiento a modo de ejemplar está acoplado al procesador de manera que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. Alternativamente, el medio de almacenamiento puede ser solidario al procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC. El ASIC puede residir en dispositivo informático o un terminal de usuario. Alternativamente, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un dispositivo informático o terminal

de usuario.

### INFORMACIÓN ADICIONAL

Las siguientes cláusulas se refieren a procedimientos para formar las diversas realizaciones de la invención:

- 5 Cláusula 1. Un procedimiento para formar un dispositivo de unión túnel magnética, comprendiendo el procedimiento: formar una zanja en un sustrato; depositar una estructura de unión túnel magnética (MTJ) dentro de la zanja, incluyendo la estructura MTJ un electrodo inferior, una capa fija, una capa barrera de túnel, una capa libre, y un electrodo superior; y aplanar la estructura MTJ sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ.
- 10 Cláusula 2. El procedimiento de la cláusula 1, en el que aplanar la estructura MTJ comprende llevar a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) para retirar el exceso de material.
- Cláusula 3 El procedimiento de la cláusula 1, comprende también aplicar un proceso de foto-grabado inverso para retirar material que no está directamente sobre la zanja.
- 15 Cláusula 4. El procedimiento de la cláusula 1, en el que aplanar la estructura MTJ comprende eliminar el material depositado del sustrato para definir una superficie sustancialmente plana.
- Cláusula 5. El procedimiento de la cláusula 1, en el que la estructura MTJ se forma sin usar un proceso de foto-grabado MTJ.
- Cláusula 6.El procedimiento de la cláusula 1, que comprende además, llevar a cabo un proceso de recocido magnético para definir una orientación de un campo magnético portado por la capa fija.
- 20 Cláusula 7. El procedimiento de la cláusula 1, en el que formar la zanja comprende: depositar una capa de película de tapa sobre una capa dieléctrica intermedia del sustrato; llevar a cabo un proceso de foto-grabado/desposo de fotorresistencia sobre las capas de película de tapa y dieléctricas intermedias para definir una vía; depositar un material conductor dentro de la vía; llevar a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) para aplanar el sustrato; depositar una capa de película de tapa; y definir la zanja en el sustrato, teniendo la zanja dimensiones que determinan la estructura MTJ sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ.
- 25 Cláusula 8: Un procedimiento para formar un dispositivo de unión túnel magnética, comprendiendo el procedimiento: definir una zanja en un sustrato; depositar una estructura de unión túnel magnética (MTJ) dentro de la zanja; retirar el exceso de material que no está directamente sobre la zanja usando un proceso de foto-grabado de baja resolución; y aplanar la estructura MTJ y el sustrato.
- 30 Cláusula 9: El procedimiento de la cláusula 8, en el que la deposición de la estructura MTJ comprende: depositar un electrodo inferior dentro de la zanja; depositar una capa antimagnética sobre un electrodo inferior dentro de la zanja; depositar una primera capa magnética sobre la capa antiferromagnética; depositar un material de óxido metálico para formar una barrera de túnel; depositar una segunda capa magnética sobre la barrera de túnel; y depositar una electrodo superior sobre la segunda capa magnética.
- 35 Cláusula 10: El procedimiento de la cláusula 8, comprende además, llevar a cabo un proceso de recocido magnético sobre una capa seleccionada para fijar una orientación de un campo magnético, comprendiendo la capa seleccionada una capa fija.
- Cláusula11: El procedimiento de la cláusula 8, comprende, además, formar al menos dos conexiones eléctricas a la estructura MTJ que aplanan la estructura MTJ.
- 40 Cláusula 12: El procedimiento de la cláusula 8, en el que aplanar la estructura MTJ y el sustrato comprende llevar a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) sin llevar a cabo un proceso de foto-graba sobre la estructura MTJ.
- Cláusula13: El procedimiento de la cláusula 8, en el que el sustrato comprende una capa dieléctrica intermedia y una capa de película de tapa
- 45 Cláusula14: El procedimiento de la cláusula 13, en el que aplanar la estructura MTJ y el sustrato comprende llevar a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) para retirar el exceso de material de la estructura MTJ y detenerse en la capa de película de tapa.
- 50 Cláusula15: Un procedimiento para formar un dispositivo de unión túnel magnética, comprendiendo el procedimiento: definir una zanja en un sustrato, comprendiendo el sustrato un material semiconductor que tiene una capa dieléctrica intermedia y una capa de película de tapa, en el que la zanja se extiende a través de la capa de película de tapa y dentro de la capa dieléctrica intermedia; depositar un electrodo inferior dentro de la zanja;

depositar una estructura MTJ sobre el electrodo inferior, incluyendo la estructura MTJ una primera capa ferromagnética, una capa barrera de túnel, y una segunda capa ferromagnética; depositar un electrodo superior sobre la estructura MTJ; y llevar a cabo un proceso de foto-grabado de zanja inverso y un proceso de planarización sobre la estructura MTJ y el sustrato para producir una superficie sustancialmente plana.

- 5 Cláusula 16: El procedimiento de la cláusula 15, en el que la estructura MTJ se forma sin llevar a cabo un proceso de foto-grabado sobre la estructura MTJ.

Cláusula 17: El procedimiento de la cláusula 15, en el que llevar a cabo el proceso de planarización comprende llevar a cabo un proceso de planarización químico-mecánica (CMP) sobre la estructura MTJ y el sustrato.

Cláusula18: El procedimiento de la cláusula 15, en el que la zanja define una forma de la estructura MTJ.

- 10 Cláusula 19: El procedimiento de la cláusula 18, en el que la zanja tiene una forma sustancialmente elíptica.

Cláusula 20: El procedimiento de la cláusula 18, en el que la zanja tiene una forma sustancialmente rectangular.

**REIVINDICACIONES**

1. Una célula MTJ que comprende:

5 una zanja en un sustrato (602);  
una estructura MTJ dentro de la zanja, teniendo la zanja dimensiones que determinan la forma de  
estructura MTJ, incluyendo la estructura MTJ:  
un electrodo inferior (606) depositado dentro de la zanja para cubrir una superficie inferior y una  
superficie lateral de la zanja;  
una pila MTJ depositada sobre el electrodo inferior dentro de la zanja, comprendiendo la pila MTJ  
una capa fija, una barrera de túnel, y una capa libre; y  
10 un electrodo central (610) dentro de la zanja acoplada a la pila MTJ;

**caracterizada porque:**

15 la pila MTJ dentro de la zanja forma al menos dos paredes laterales verticales opuestas (616, 620) y una  
pared inferior (770), definiendo cada una de las paredes laterales verticales (616, 620) y la pared inferior  
(770) un dominio magnético independiente (622, 624, 772),  
además **caracterizada porque** una anchura (a, b) de cada cara lateral exterior de la pila MTJ (616, 620)  
es menor que una profundidad (c) de la pila MTJ de manera que los dominios magnéticos (622, 624) de las  
paredes laterales verticales (616, 620) están orientadas en una dirección vertical.

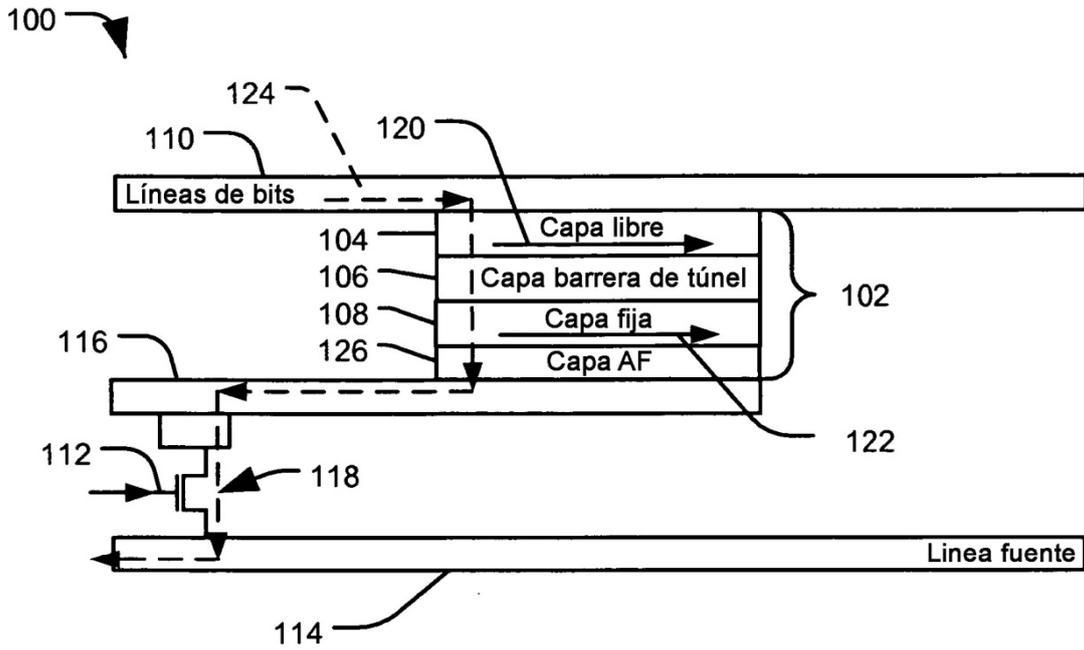
20 **2.** La célula MTJ de la reivindicación 1,  
en la que las paredes laterales verticales (616, 620) y la pared inferior (770) están situadas alrededor de un  
electrodo central vertical común (610).

**3.** La célula MTJ de las reivindicaciones 1 o 2, en la que la pared inferior (770) define un dominio magnético  
horizontal (772).

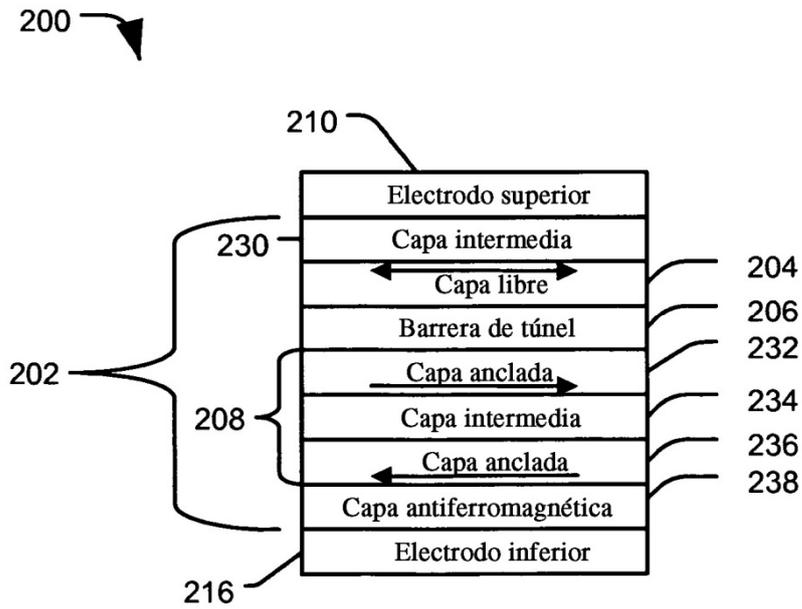
**4.** La célula MTJ de la reivindicación 1, en la que la estructura MTJ comprende una tercera pared lateral vertical, y en  
vista en planta, tiene forma de U.

25 **5.** La célula MTJ de la reivindicación 1, en la que la estructura MTJ comprende una cuarta pared lateral vertical, y en  
vista en planta, es de forma rectangular.

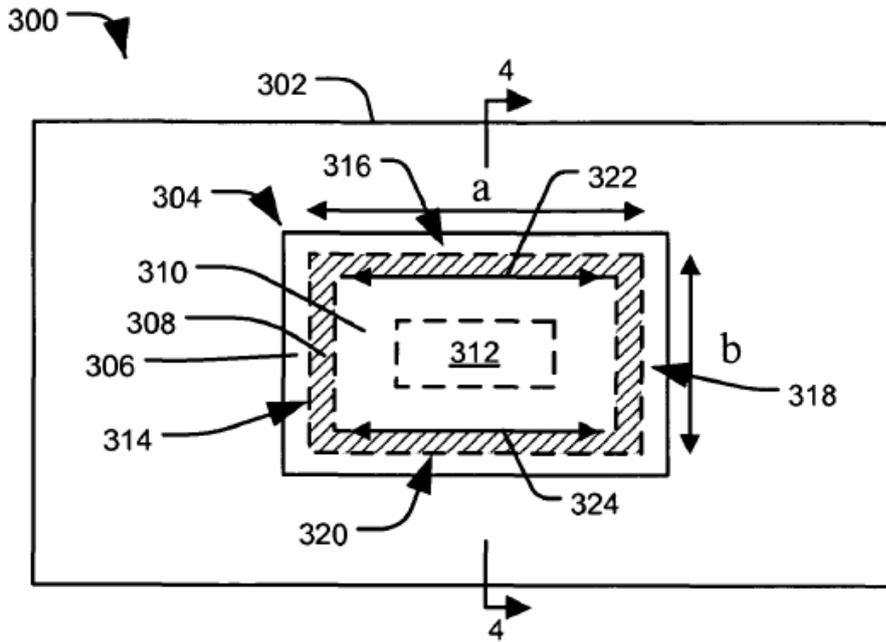
**6.** La célula MTJ de la reivindicación 5, en la que la cuarta pared lateral vertical define un dominio magnético  
independiente orientado en una dirección vertical.



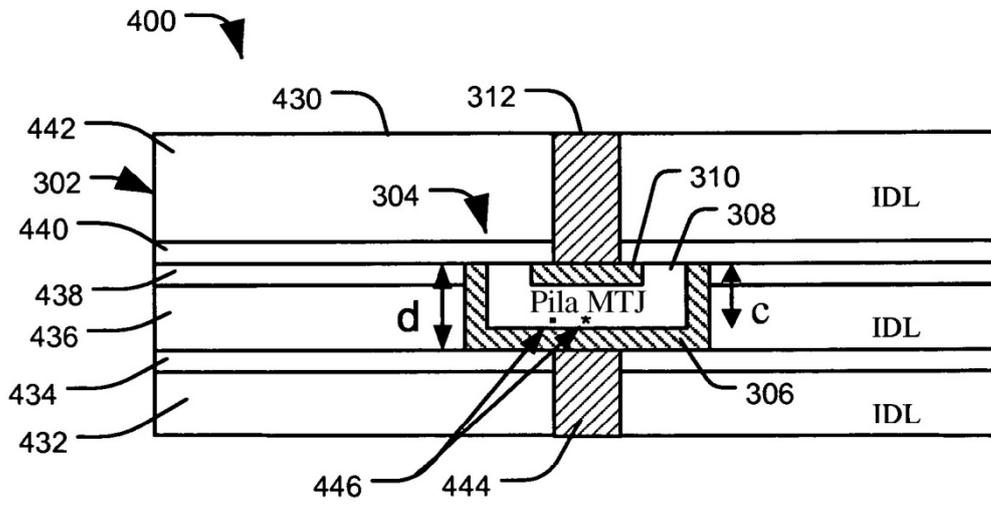
**FIG. 1**



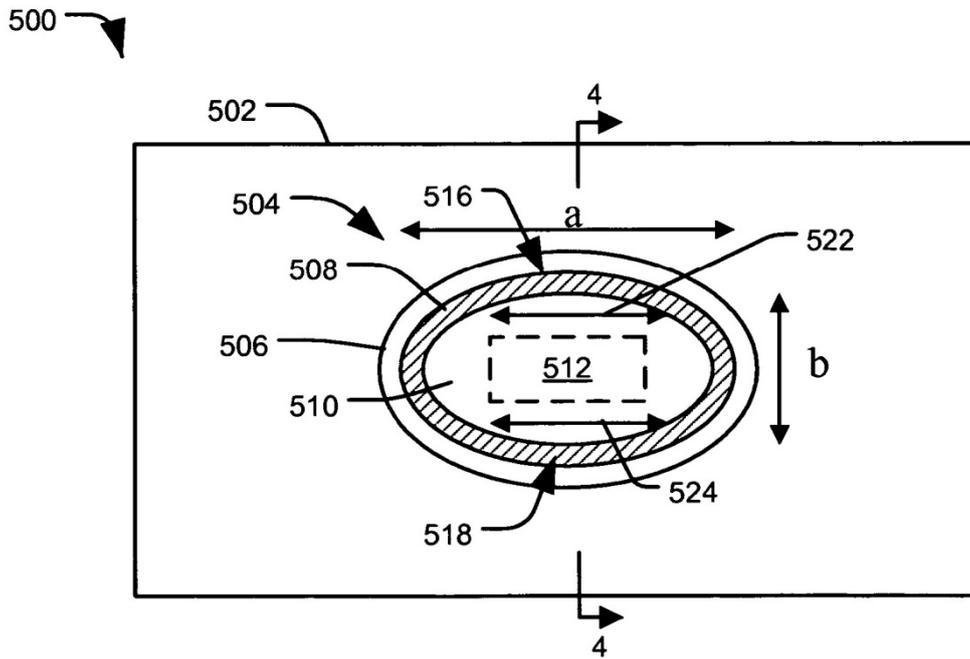
**FIG. 2**



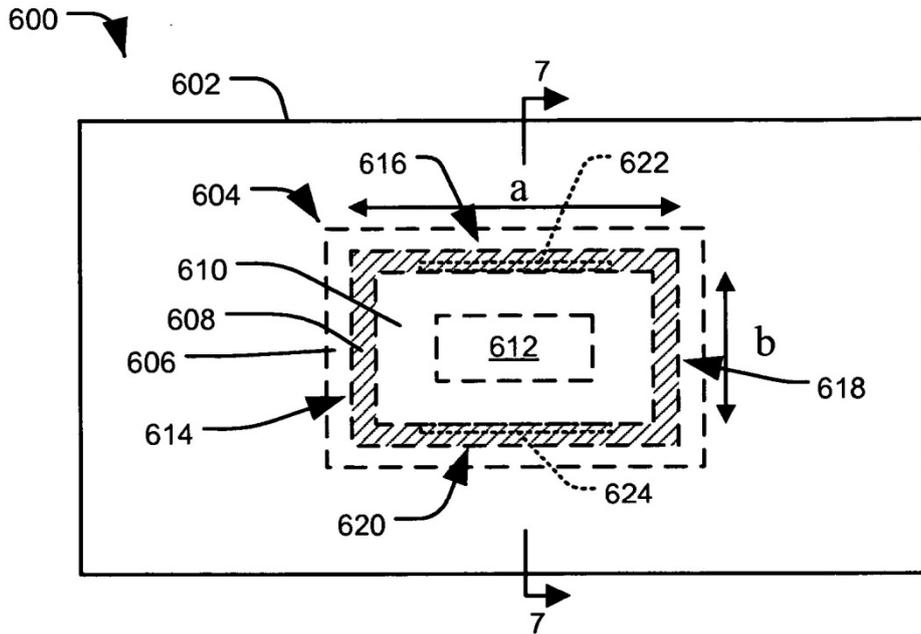
**FIG. 3**



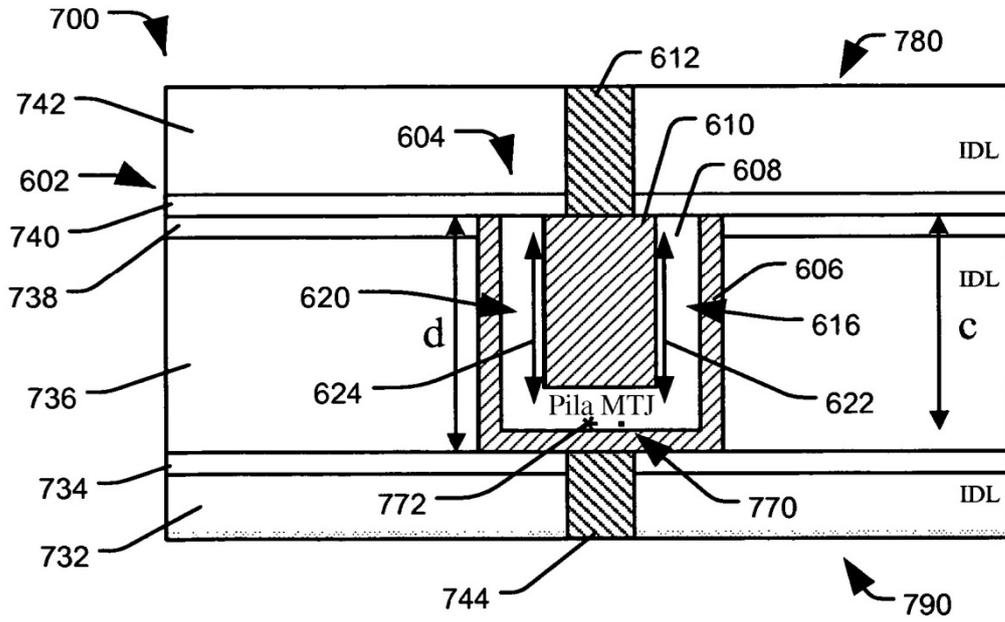
**FIG. 4**



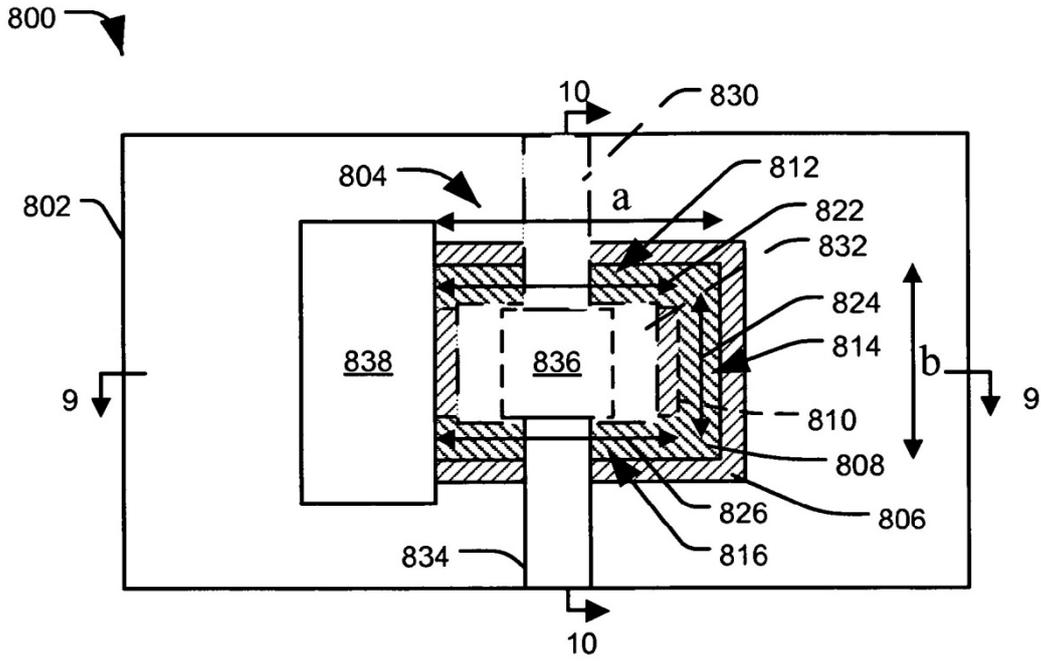
**FIG. 5**



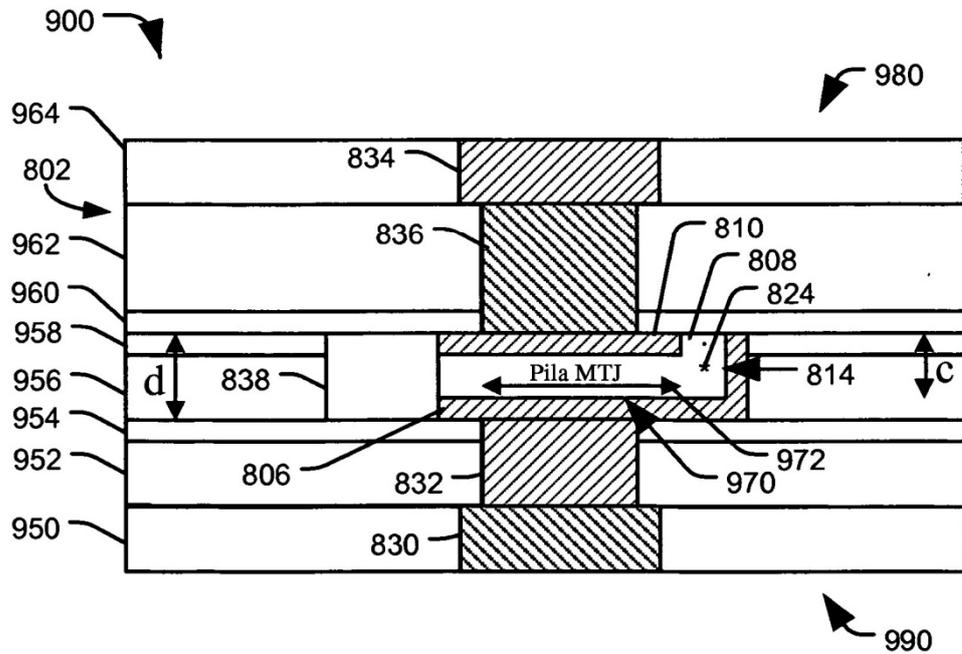
**FIG. 6**



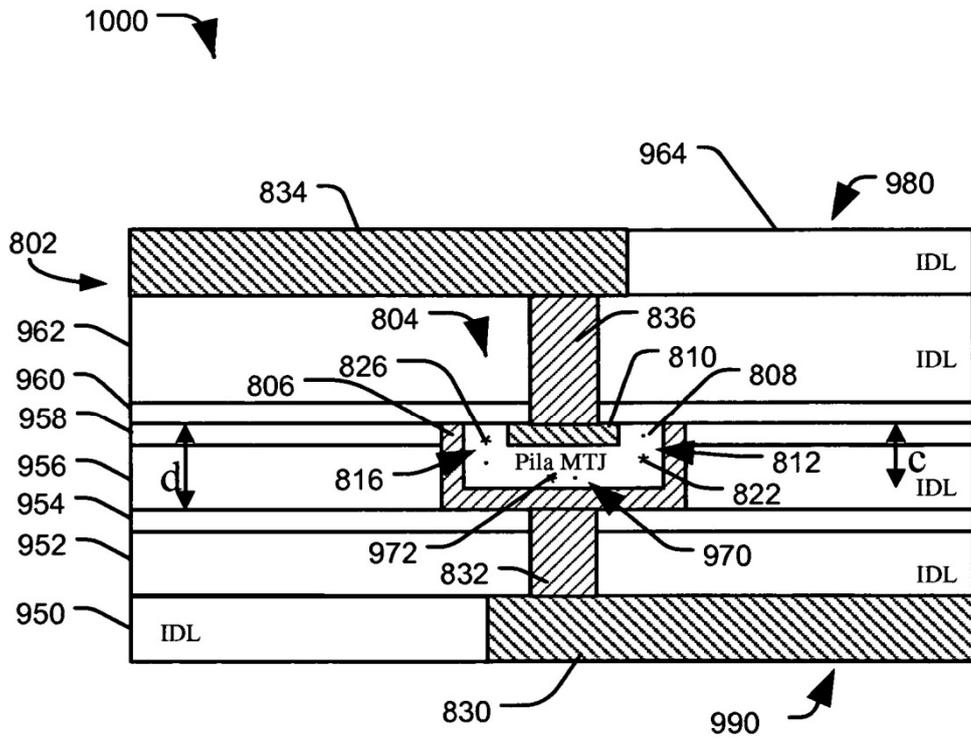
**FIG. 7**



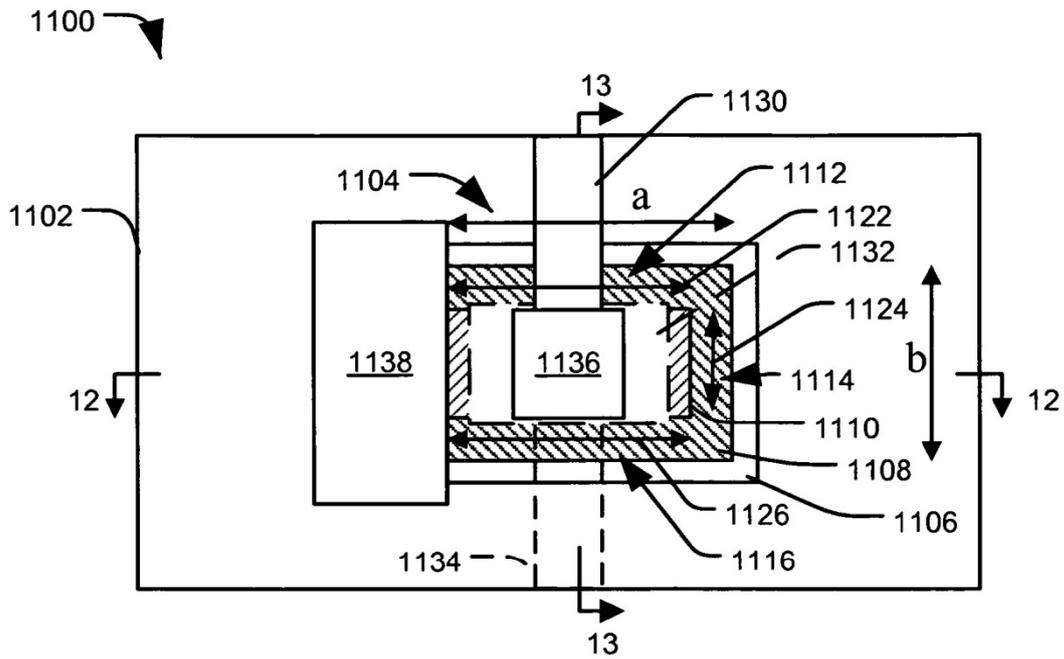
**FIG. 8**



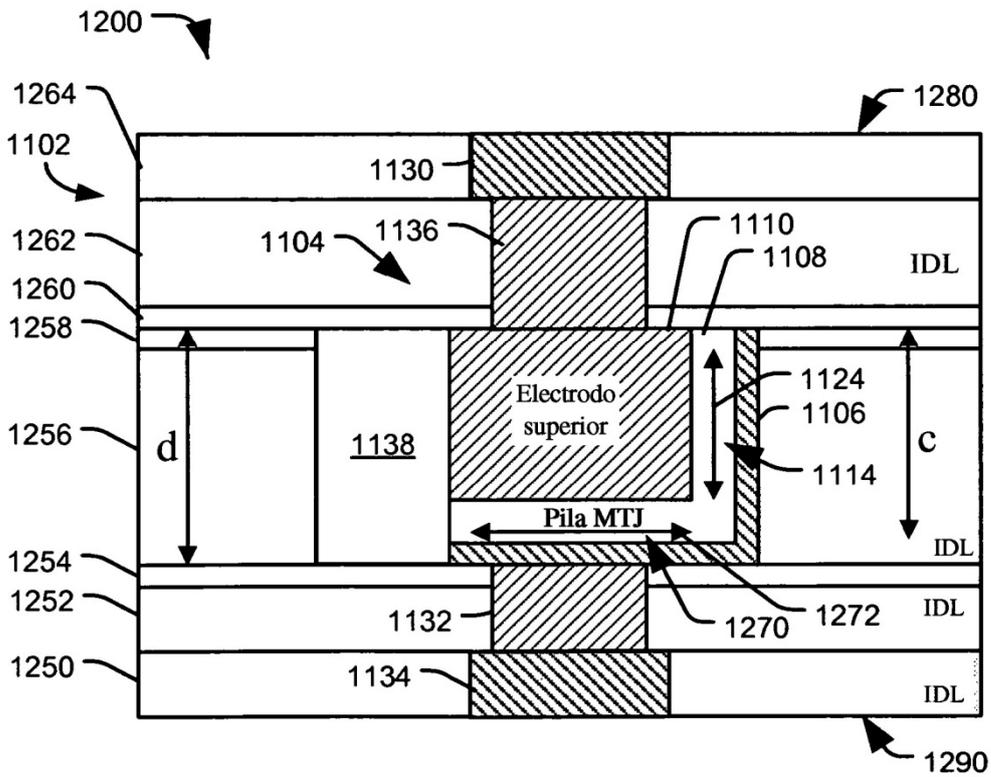
**FIG. 9**



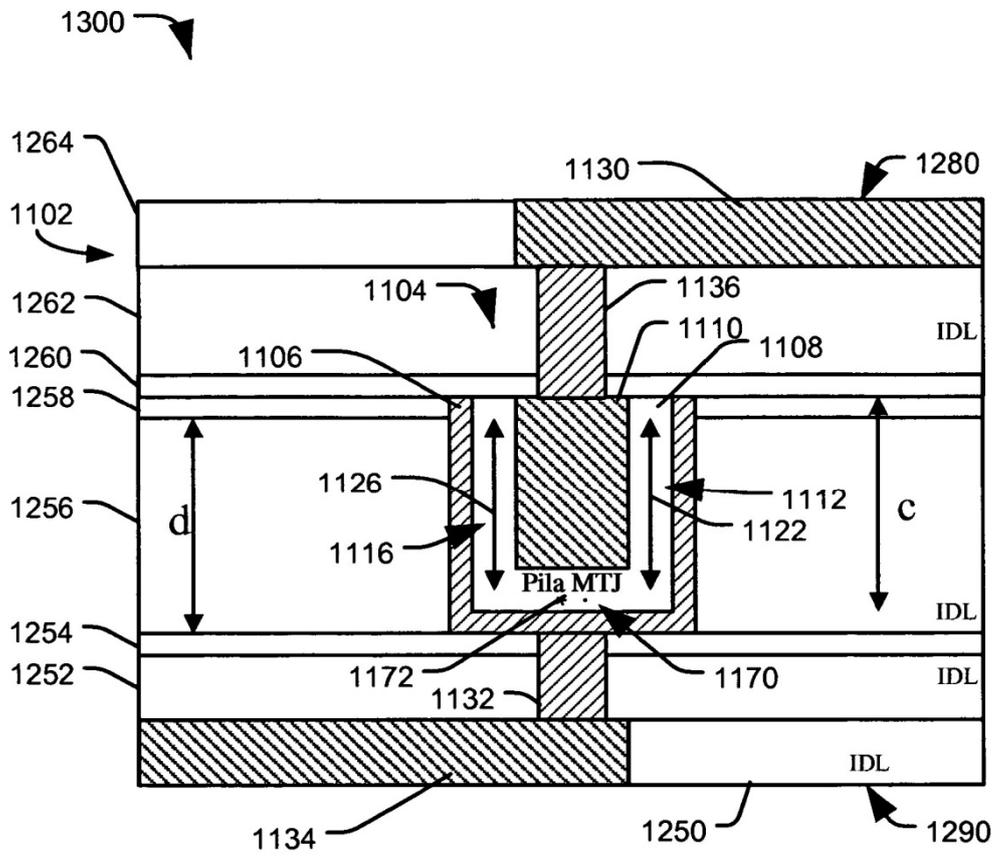
**FIG. 10**



**FIG. 11**

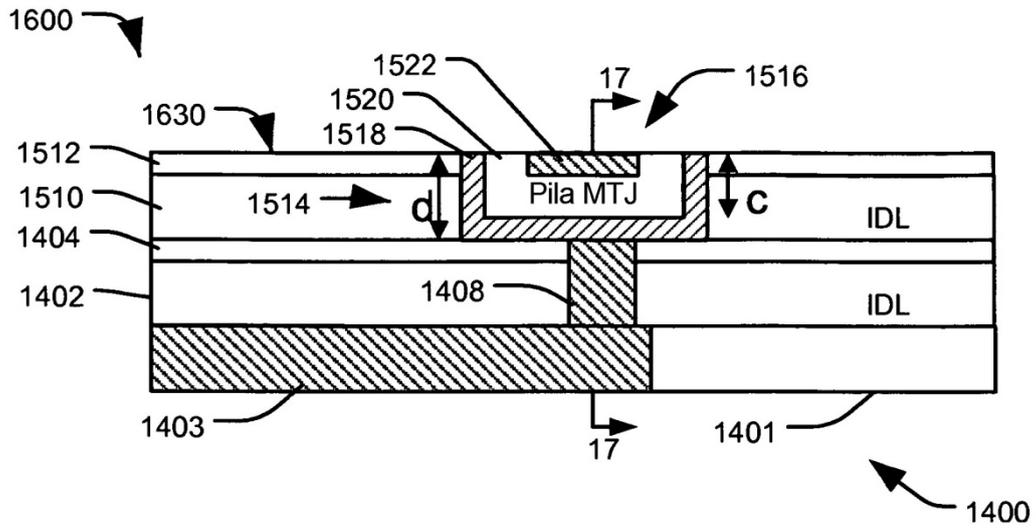


**FIG. 12**

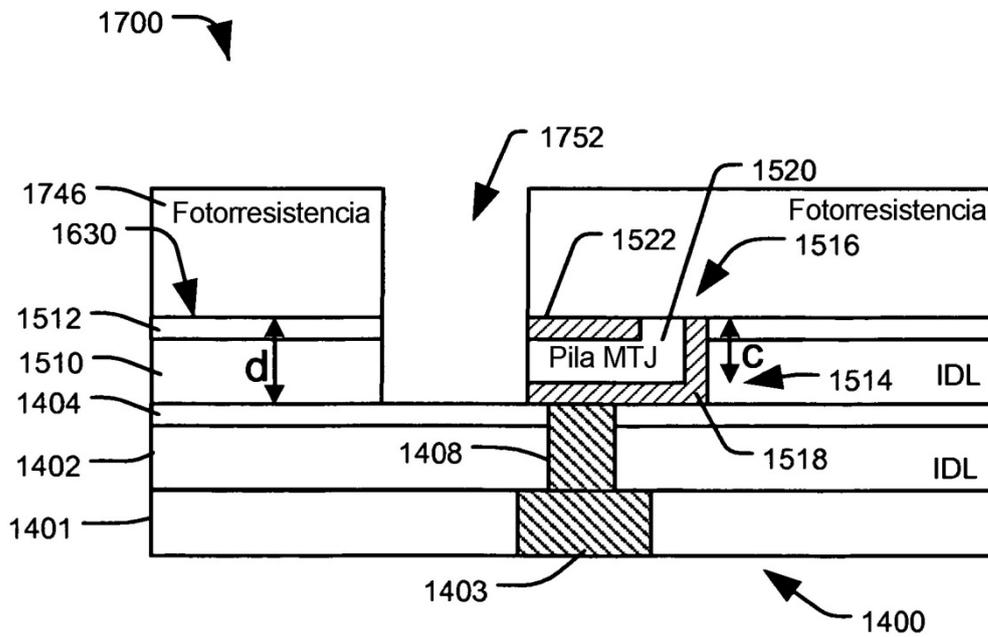


**FIG. 13**

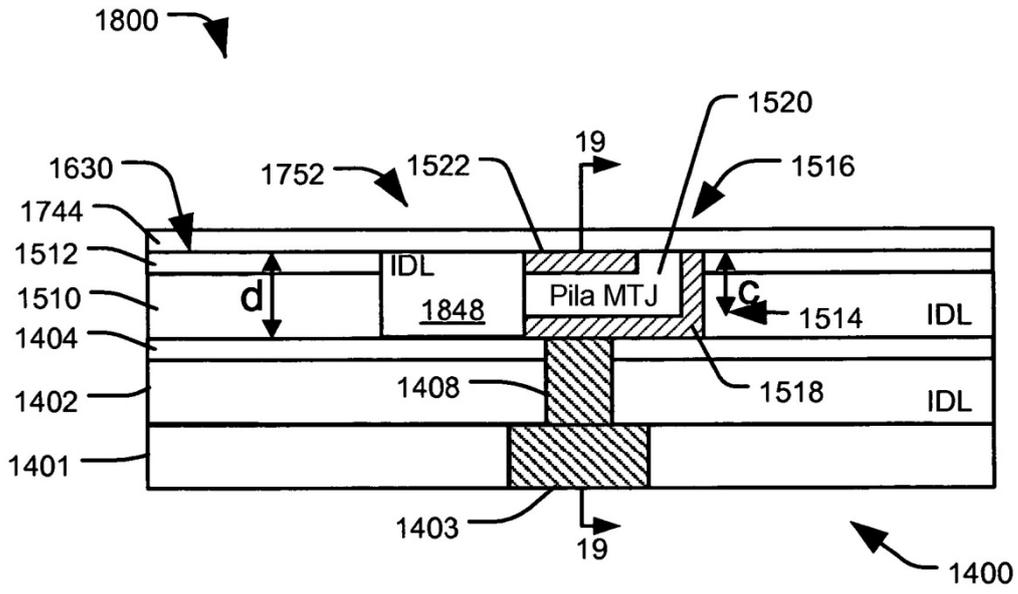




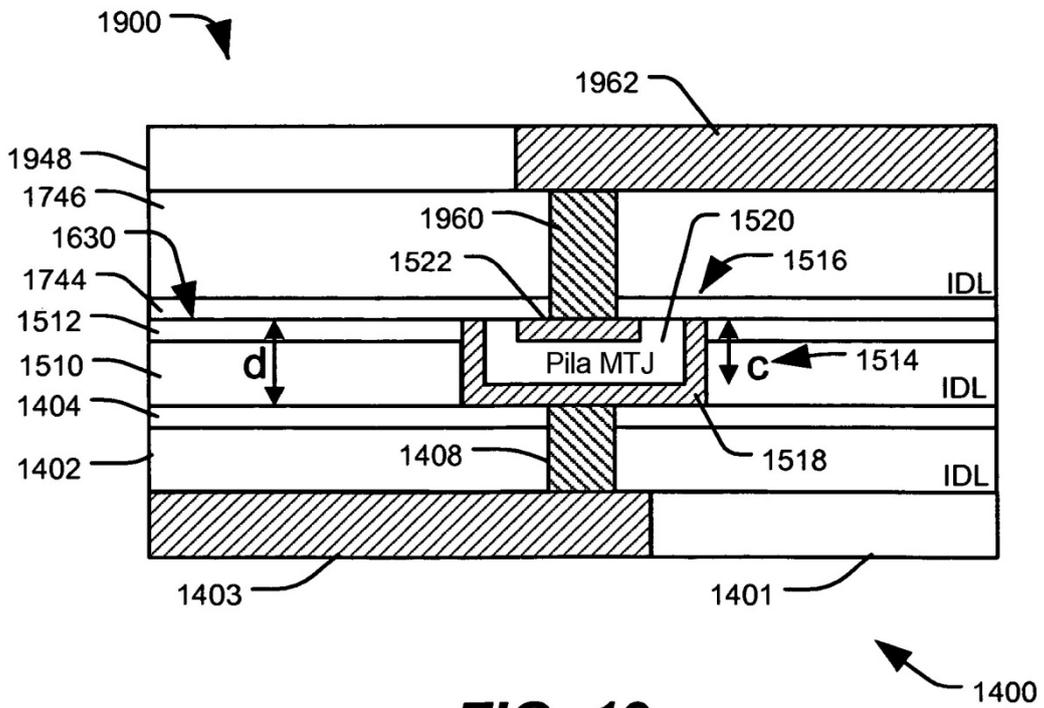
**FIG. 16**



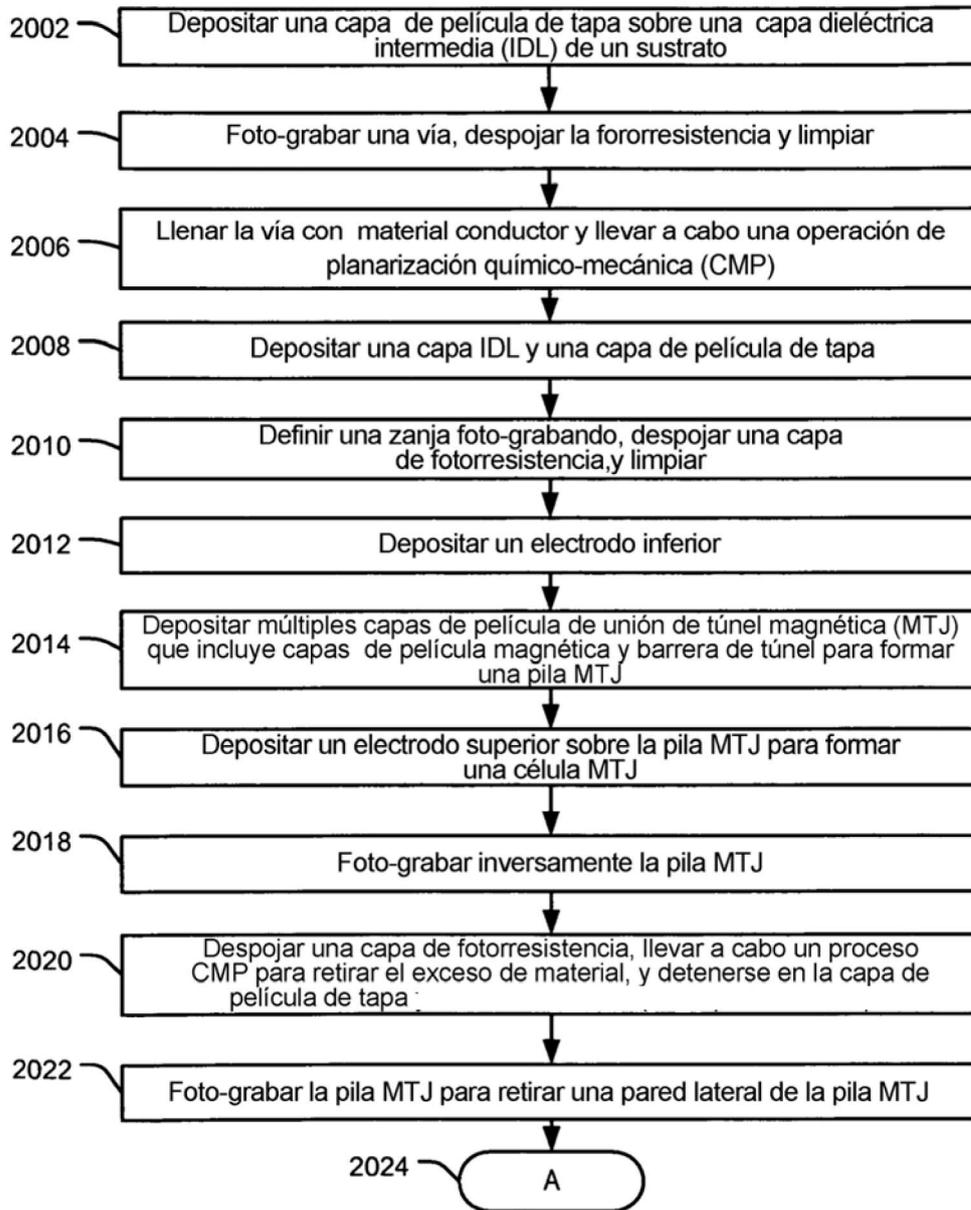
**FIG. 17**



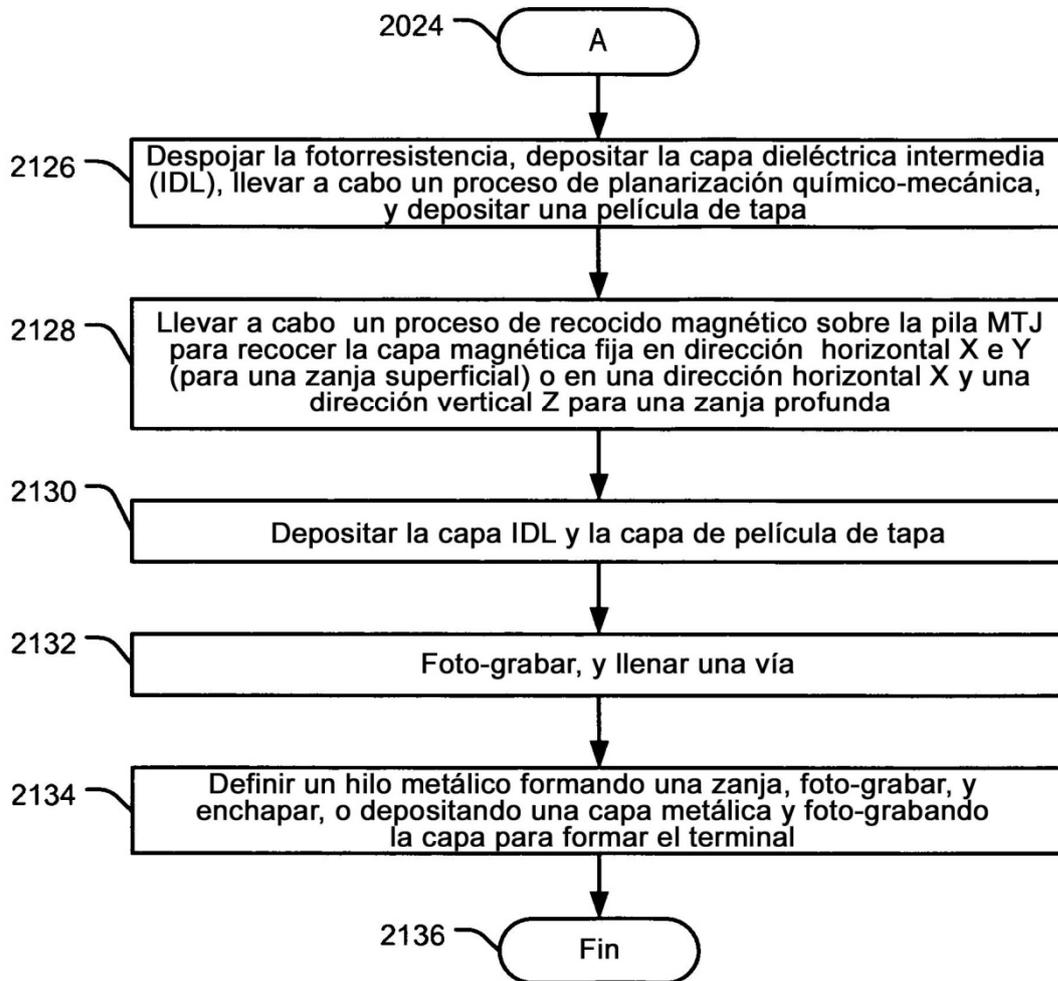
**FIG. 18**



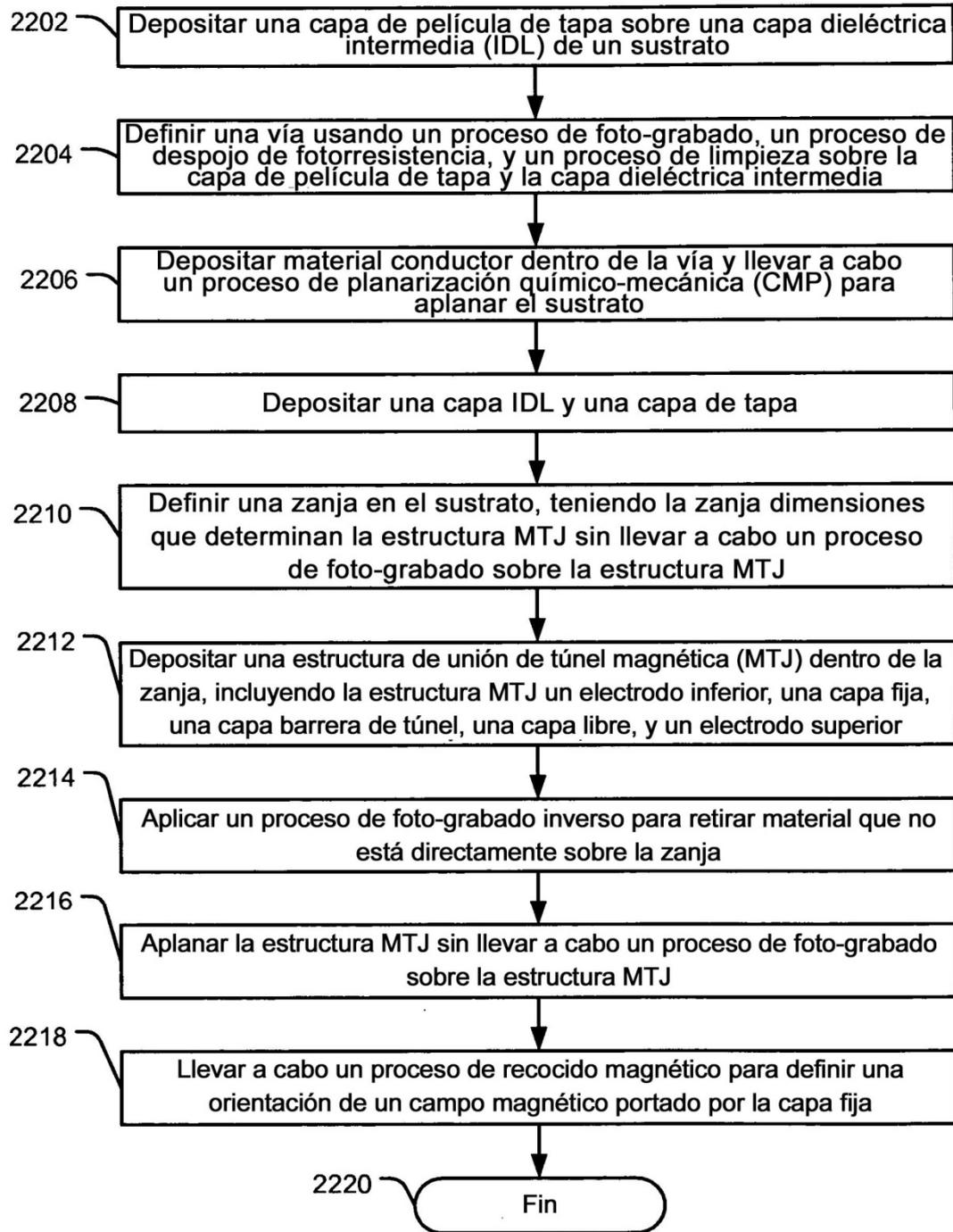
**FIG. 19**



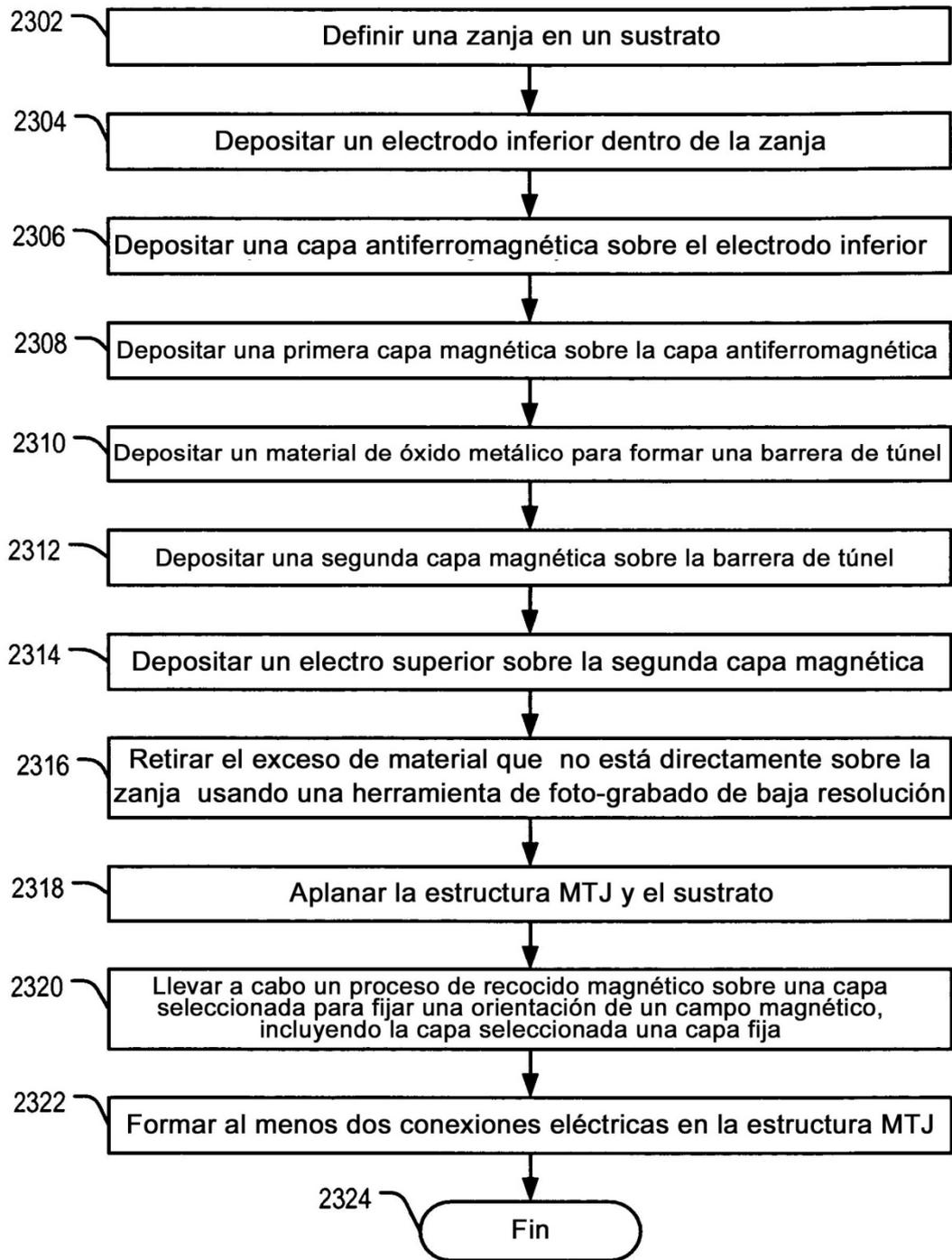
**FIG. 20**



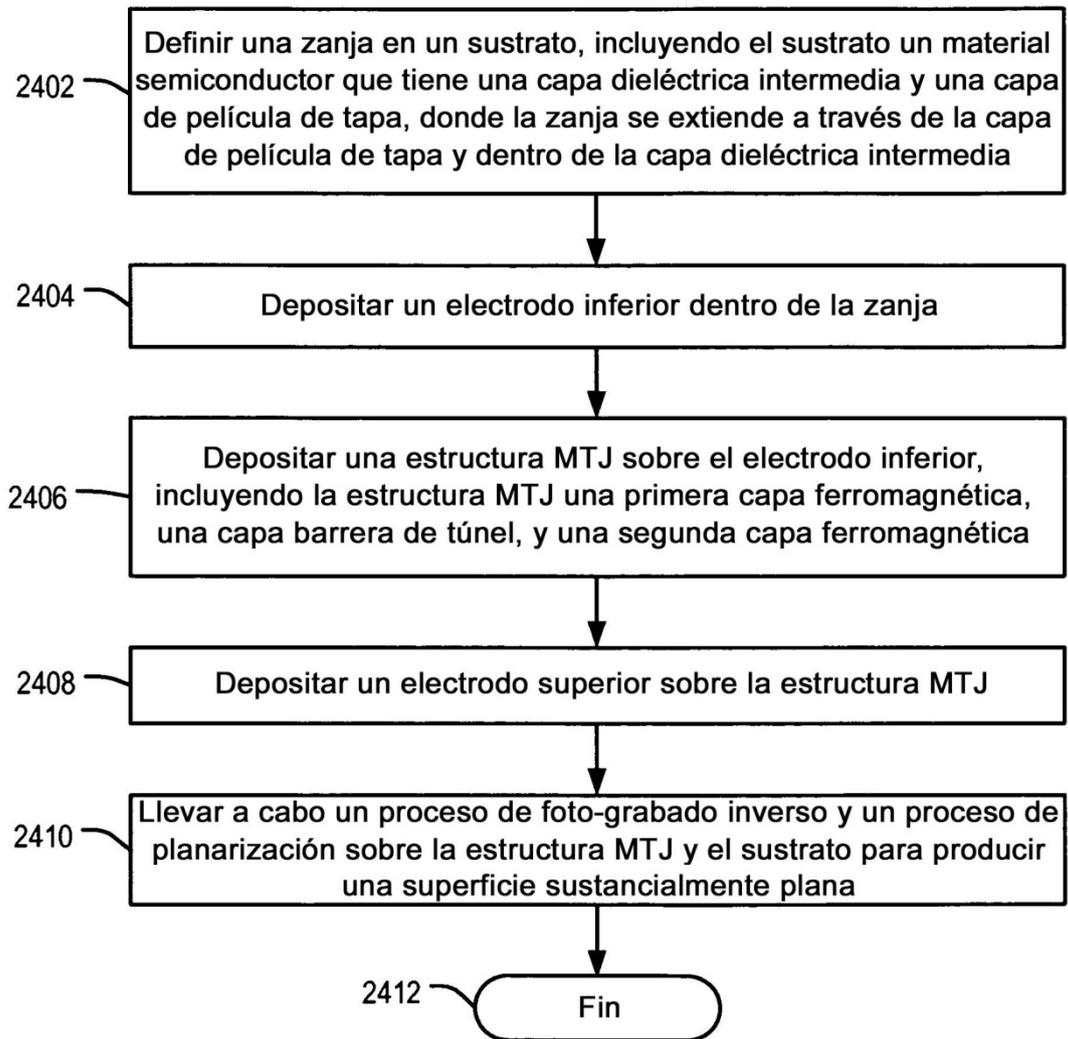
**FIG. 21**



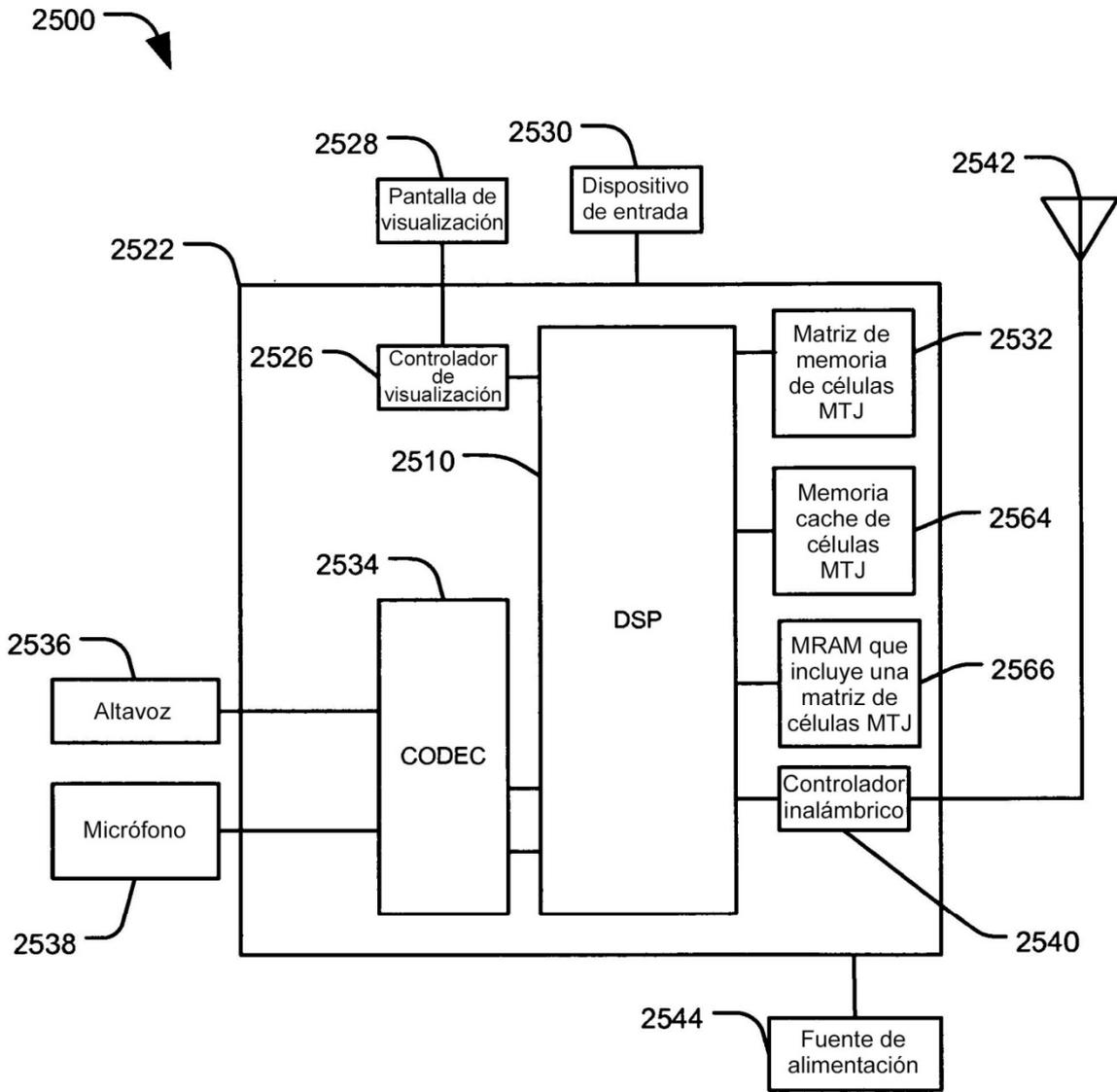
**FIG. 22**



**FIG. 23**



**FIG. 24**



**FIG. 25**