

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 028**

51 Int. Cl.:

H01L 43/08 (2006.01)

G01R 33/09 (2006.01)

G11C 11/15 (2006.01)

H01F 10/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.06.2010 E 10739416 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2016 EP 2441100**

54 Título: **Dispositivo de unión túnel magnética y su fabricación**

30 Prioridad:

11.06.2009 US 482730

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

19.04.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ZHU, XIAOCHUN;
KANG, SEUNG H. y
LI, XIA**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 567 028 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

Dispositivo de unión túnel magnética y su fabricación

5 CAMPO

La presente divulgación está referida, en general, a dispositivos de unión túnel magnética (MTJ) y a su fabricación.

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA RELACIONADA

10 Los elementos de MTJ pueden ser usados para crear una memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM). Un elemento de MTJ incluye habitualmente una capa inmovilizada, una barrera de túnel magnético y una capa libre, donde un valor de bit está representado por un momento magnético en la capa libre. Un valor de bit almacenado por un elemento de MTJ está determinado por una dirección del momento magnético de la capa libre con relación a una
15 dirección de un momento magnético fijo llevado por la capa inmovilizada. La magnetización de la capa inmovilizada es fija, mientras que la magnetización de la capa libre puede ser conmutada.

20 Cuando una corriente fluye a través del elemento de MTJ, la dirección de magnetización de la capa libre puede ser cambiada cuando la densidad de la corriente supera un valor de umbral, es decir, una densidad de corriente de conmutación crítica (J_c). De acuerdo a un modelo de transferencia de fuerza de par de giro, J_c es proporcional a una constante de amortiguación efectiva (α_{ef}), una magnetización de saturación (M_S) y un espesor (t_{libre}) de la capa libre, es decir $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$. La disminución de la densidad de corriente de conmutación crítica permite un bajo consumo de energía y un área de chip más pequeña de las tecnologías de STT-MRAM, lo que puede ser logrado reduciendo uno o más entre α_{ef} , M_S y t_{libre} .

25 Una capa de barrera de giro, interpuesta entre la capa libre y un contacto eléctrico superior del elemento de MTJ, puede reducir la constante de amortiguación efectiva α_{ef} de la capa libre. Sin embargo, las capas de barrera de giro son habitualmente capas aislantes que pueden incluir un óxido de materiales, un nitruro de materiales o una capa semi-metálica y por tanto tienen habitualmente una alta resistencia en serie. La alta resistencia en serie reduce la magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de MTJ, provocando problemas para los procesos de lectura y escritura de STT-MRAM. La alta resistencia en serie también puede limitar la capacidad de suministro de corriente impulsora de escritura de la célula de bits.

30 El documento US2005 / 254287A1 describe un elemento magnético que incluye una capa inmovilizada, una capa separadora, una capa libre, una capa inmovilizadora usada para inmovilizar la magnetización de la capa inmovilizada, capas seminales y capas de culminación.

RESUMEN

40 Una capa de realce de fuerza de par de giro, adyacente a una capa libre de un dispositivo de MTJ, puede incluir una capa de nano-óxido. Con la capa de realce de fuerza de par de giro insertada entre la capa libre y el contacto metálico superior del dispositivo de MTJ, la capa de realce de fuerza de par de giro establece una interfaz con la capa libre, reduciendo la constante de amortiguación efectiva α_{ef} de la capa libre. La reducción de la constante de amortiguación efectiva α_{ef} de la capa libre reduce la densidad de corriente de conmutación crítica J_c porque $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$. Los trayectos confinados de corriente que se extienden a través de la capa de nano-óxido impiden que la resistencia en serie de la MTJ aumente significativamente, por lo que la magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de MTJ no se reduce significativamente.

50 Aspectos de la presente invención se enuncian en las reivindicaciones independientes.

En un ejemplo, se divulga un aparato que incluye un dispositivo de MTJ. El dispositivo de MTJ incluye una capa libre y una capa de realce de fuerza de par de giro, sensible a la capa libre, incluyendo la capa de realce de fuerza de par de giro una capa de nano-óxido.

55 En otro ejemplo, se divulga un aparato que incluye un dispositivo de MTJ. El dispositivo de MTJ incluye una capa libre, una capa de barrera de túnel adyacente a la capa libre y una capa de realce de fuerza de par de giro, adyacente a la capa libre. La capa de realce de fuerza de par de giro incluye una capa de nano-óxido. La capa de realce de fuerza de par de giro está entre la capa libre y un contacto eléctrico del dispositivo de MTJ.

60 En otro ejemplo, se divulga un aparato que incluye un dispositivo de MTJ que incluye medios para almacenar un valor de datos como una orientación de un momento magnético que es programable por una corriente polarizada en giro, que supera una densidad de corriente de umbral. El dispositivo de MTJ también incluye medios de barrera de tunelación para proporcionar electrones de conducción al medio, para su almacenamiento por tunelación mecánica cuántica de electrones de conducción a través de una barrera. El dispositivo de MTJ incluye además medios de realce de fuerza de par de giro, para reducir un umbral crítico de densidad de corriente de conmutación, sin reducir
65

significativamente una magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de unión túnel magnética. El medio de realce de fuerza de par de giro incluye una capa de nano-óxido, y el medio para el almacenamiento está situado entre el medio de barrera de tunelación y el medio de realce de fuerza de par de giro.

- 5 En otro ejemplo, se divulga un procedimiento que incluye formar una capa libre por encima de una capa de barrera de túnel de una estructura de unión túnel magnética (MTJ). El procedimiento incluye formar una capa de realce de fuerza de par de giro por encima de la capa libre. La capa de realce de fuerza de par de giro incluye una capa de nano-óxido.
- 10 Una ventaja específica proporcionada por al menos una de las realizaciones divulgadas es reducir una densidad crítica de corriente de conmutación $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$ reduciendo una constante de amortiguación efectiva α_{ef} de una capa libre, en comparación con dispositivos de MTJ que no incluyen una capa de realce de fuerza de par de giro que incluya una capa de nano-óxido. Otra ventaja específica proporcionada por al menos una de las realizaciones divulgadas es una estructura de MTJ que no aumenta una resistencia en serie de la MTJ y no disminuye una magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de MTJ, en comparación con dispositivos de MTJ que no usan una capa de realce de fuerza de par de giro que incluya una capa de nano-óxido. Otros aspectos, ventajas y características de la presente divulgación devendrán evidentes después de la revisión de la solicitud completa, incluyendo las siguientes secciones: Breve descripción de los dibujos, Descripción detallada y las Reivindicaciones.

20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIG. 1 es una realización ilustrativa de un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) con una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido;

- 25 la FIG. 2 es una segunda realización ilustrativa de un dispositivo de tunelación magnética (MTJ) con una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido;

la FIG. 3 es una realización ilustrativa de un elemento de una memoria magnética de acceso aleatorio de transferencia de fuerza de par de giro (STT-MRAM) que incluye un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) con una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido;

la FIG. 4 es una realización ilustrativa de una formación de memorias que incluye una estructura de unión túnel magnética (MTJ) con una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido;

- 35 la FIG. 5 es un diagrama de flujo de una realización ilustrativa de un procedimiento de formación de un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ);

la FIG. 6 es un diagrama de bloques de una realización específica de un dispositivo de comunicación portátil que incluye un módulo que tiene estructuras de MTJ que incluyen una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido; y

la FIG. 7 es un diagrama de flujo de datos que ilustra un proceso de fabricación para su uso con dispositivos de unión túnel magnética (MTJ) que tengan una capa de realce de fuerza de par de giro según lo descrito en las FIGs. 1 a 6.

45 V. Descripción detallada

Con referencia a la FIG. 1, se ilustra una primera realización ilustrativa de un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) con una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido, y se indica en general como 100. El dispositivo de MTJ 100 incluye un contacto inferior 102, una capa inmovilizadora anti-ferromagnética (AF) 104, una capa inmovilizada 112, una capa de barrera de túnel 114, una capa libre 116, una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido 118 y un contacto superior 120. En una realización específica, la capa inmovilizada 112 es una capa compuesta e incluye una capa ferromagnética de CoFe 106, una capa no magnética de Ru 108 y una capa ferromagnética de CoFeB 110.

55 La capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 118, puede incluir una o más islas conductoras 122 de material conductor, extendiéndose a través de las mismas y conectando la capa libre 116 y el contacto superior 120. La capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 118, también puede tener uno o más trayectos conductores 124 de material conductor, extendiéndose a través de los mismos, y también conectando la capa libre 116 y el contacto superior 120. Dichas una o más islas conductoras 122 y dichos uno o más trayectos conductores 124 pueden estar rodeados por material aislante 126.

65 En una realización específica, la capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 118, reduce un umbral de densidad crítica de corriente de conmutación, sin reducir significativamente una magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de MTJ 100. En una realización específica, la magneto-resistencia de tunelación (TMR) es una razón, entre una diferencia entre una primera resistencia (R_1) en un primer estado del

dispositivo de MTJ 100 y una segunda resistencia (R_0) en un segundo estado del dispositivo de MTJ 100, y la

$$TMR = \frac{R_1 - R_0}{R_0}$$

segunda resistencia (R_0) en el segundo estado del dispositivo de MTJ 100. Por ejemplo, en una realización específica, la capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 118, reduce un umbral de densidad crítica de corriente de conmutación, sin aumentar significativamente una resistencia del dispositivo de MTJ 100. La capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 118, puede ser sensible a la capa libre 116, reduciendo la constante de amortiguación efectiva α_{ef} de la capa libre 116, para reducir el umbral de densidad crítica de corriente de conmutación J_c porque $J_c \propto \alpha_{ef} (Ms)^2 t_{libre}$.

En una realización específica, la capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 118, incluye una capa de oxidación de una aleación metálica no magnética. Por ejemplo, la capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 118, puede formarse oxidando una aleación no magnética. Por ejemplo, una aleación metálica no magnética $Al_{90}Cu_{10}$ de aluminio y cobre puede ser depositada sobre la capa libre 116 y oxidada para formar un material aislante de óxido de aluminio Al_2O_3 126, formando el metal no oxidado de $Al_{90}Cu_{10}$ dichas una o más islas conductoras 122 y dichos uno o más trayectos conductores 124. El espesor de la aleación metálica no magnética de aluminio y cobre $Al_{90}Cu_{10}$ puede ser cambiado para controlar el número y la densidad de dichas una o más islas conductoras 122 y dichos uno o más trayectos conductores 124.

El material aislante 126 puede incluir un óxido de materiales procedentes de un grupo que consiste en Mg, Al, B, Si, Ge, W, Nb, Mo, Ta, V, Ti, Cr, Fe, Co, Ni y Cu. El material aislante 126 también puede incluir un nitruro de materiales procedentes de un grupo que consiste en Al, B, Si, Ge, Ti y Pt. El material aislante 126 también puede incluir al menos un material procedente del grupo que consiste en Si, Ge, Ga, Cd, Te, Sb, In, Al, As, Hg, C y Cr. El material aislante 126 también puede incluir materiales semi-metálicos, tales como Sr_2FeMoO_6 , $(La_{0.7}Sr_{0.3})MnO_3$, NiMnSb, Fe_3O_4 y CrO_2 . Dichas una o más islas conductoras 122 y dichos uno o más trayectos conductores 124 pueden incluir uno o más materiales procedentes de un grupo que consiste en Cu, Ag, Au, Pt, Pd, Ir, Os, Cr, Ta, Mg, Ti, Si, Al, Ni, Fe y Co.

Con referencia a la FIG. 2, se ilustra una segunda realización ilustrativa de un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) con una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido, y se indica en general como 200. El dispositivo de MTJ 200 puede ser similar al dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1. El dispositivo de MTJ 200 incluye un contacto inferior 202, una capa inmovilizadora anti-ferromagnética (AF) 204, una capa inmovilizada 212, una capa de barrera de túnel 214, una capa libre 216, una capa de realce de fuerza de par de giro que incluye una capa de nano-óxido 218, una capa de culminación 222 y un contacto superior 220. En una realización específica, la capa inmovilizada 212 es una capa compuesta e incluye una capa ferromagnética de CoFe 206, una capa no magnética de Ru 208 y una capa ferromagnética de CoFeB 210. En una realización específica, la capa libre 216 es una capa compuesta e incluye una primera capa ferromagnética 228, tal como CoFeB, y una segunda capa ferromagnética 230, tal como NiFe.

La capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 218, puede ser similar a la capa de realce de fuerza de par de giro que incluye la capa de nano-óxido 118 de la FIG. 1. La capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 218, puede tener una o más islas conductoras de material conductor, similar a dichas una o más islas conductoras 122 de la FIG. 1, extendiéndose a través de las mismas, y conectando la capa libre 216 y la capa de culminación 222. La capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 218, también puede tener uno o más trayectos conductores 224 de material conductor, extendiéndose a través de los mismos, y también conectando la capa libre 216 y la capa de culminación 222. Dichas una o más islas conductoras y dichos uno o más trayectos conductores 224 pueden estar rodeados por material aislante 226.

En una realización específica, la capa de realce de fuerza de par de torsión, que incluye la capa de nano-óxido 218, reduce un umbral de densidad crítica de corriente de conmutación, sin disminuir significativamente una magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de MTJ 200. En una realización específica, la capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido 218, reduce un umbral de densidad crítica de corriente de conmutación sin aumentar significativamente una resistencia del dispositivo de MTJ 200.

Con referencia a la FIG. 3, se ilustra una primera realización ilustrativa de un elemento de una memoria magnética de acceso aleatorio de transferencia de fuerza de par de giro (STT-MRAM), y se indica en general como 300. El elemento de la STT-MRAM 300 incluye una célula de memoria con un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ) 301 y un transistor de acceso 316 sobre un sustrato 326. El dispositivo de MTJ 301 incluye un electrodo de transistor de acceso 314, una capa seminal 303, una capa inmovilizadora anti-ferromagnética (AF) 304, una capa inmovilizada 306, una capa de barrera de túnel 308, una capa libre 312, una capa de nano-óxido 392 y un electrodo de acceso de línea de bits 302, acoplado con una línea de bits 318. En una realización específica, la capa libre 312 es una capa compuesta que incluye una primera parte ferromagnética 310 y una segunda parte ferromagnética 390. El electrodo de transistor de acceso 314 está acoplado con una región de desagote 330 del transistor de acceso 316. El transistor de acceso 316 está dotado de compuerta por una línea de palabras 319 y tiene una región de origen 332 acoplada con un contacto de origen 320.

La capa seminal 303 está en contacto con el electrodo de transistor de acceso 314. La capa seminal 303 proporciona una superficie para la deposición de la película de la MTJ y puede estar compuesta por varias capas distintas. La capa inmovilizadora AF 304 está en contacto con la capa seminal 303. La capa inmovilizadora AF 304 provoca una orientación de un momento magnético 325 de la capa inmovilizada 306 para que sea inmovilizada en una dirección específica. La capa inmovilizada 306 está en contacto con la capa inmovilizadora AF 304 y puede estar compuesta por un material ferromagnético.

La capa de barrera de túnel 308 está en contacto con la capa inmovilizada 306 y aísla físicamente la capa inmovilizada 306 de la capa libre 312, permitiendo a la vez el flujo de corriente mediante un quantum de electrones que tunelizan mecánicamente a través de la capa de barrera de túnel 308. La capa de barrera de túnel 308 puede estar compuesta por un material no magnético. En una realización ilustrativa, la capa de barrera de túnel 308 incluye óxido de magnesio (MgO).

La capa libre 312 está en contacto con la capa de barrera de túnel 308 y está situada a una distancia d1 340 del sustrato 326. La capa libre 312 tiene un momento magnético 324 que puede estar en alineación paralela o anti-paralela con el momento magnético 325 de la capa inmovilizada 306. La capa inmovilizada 306 puede estar a una distancia d2 342 del sustrato 326, donde la distancia d2 342 es menor que la distancia d1 340. La capa libre 312 está por encima de la capa inmovilizada 306, con respecto al sustrato 326. El momento magnético 324 de la capa libre 312 puede ser escrito por una corriente que supera una corriente de conmutación crítica, y puede ser leído usando una corriente que es menor que la corriente de conmutación crítica. Por ejemplo, la corriente de lectura puede ser mucho menor que la corriente de conmutación crítica para impedir perturbaciones de lectura. En una realización ilustrativa, la capa libre 312 es una única capa ferromagnética. En otra realización ilustrativa, la capa libre 312 es una capa compuesta por dos capas ferromagnéticas. En una realización específica, las dos capas ferromagnéticas pueden tener entre sí un separador no magnético (no mostrado). En otra realización ilustrativa, la capa libre 312 es una capa ferromagnética sintética o una capa anti-ferromagnética sintética.

En una realización específica, la capa libre 312 es una capa compuesta que incluye la primera parte ferromagnética 310 y la segunda parte ferromagnética 390. En una realización específica, la primera parte ferromagnética 310 incluye cobalto y hierro. Por ejemplo, la primera parte ferromagnética 310 puede incluir CoFe, CoFe-X (tal como CoFeB), CoFe-X-Y, o cualquier combinación de los mismos. En una realización específica, la segunda parte ferromagnética 390 incluye níquel y hierro. Por ejemplo, la segunda parte ferromagnética 390 puede incluir NiFe, permalloy (aleación 80/20 de níquel y hierro) o cualquier combinación de los mismos.

La capa de nano-óxido 392 está en contacto con la capa libre 312. En una realización específica, la capa de nano-óxido 392 incluye una capa de oxidación de una aleación metálica no magnética. Por ejemplo, la aleación metálica no magnética de aluminio y cobre $Al_{90}Cu_{10}$ puede ser depositada sobre la capa libre 312 y oxidada para formar la capa de nano-óxido 392. La capa de nano-óxido 392 puede ser configurada para disminuir la densidad crítica de corriente de conmutación $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$, disminuyendo la constante de amortiguación efectiva α_{ef} de la capa libre 312, sin aumentar significativamente la resistencia del dispositivo de MTJ 301. Debido a que la resistencia del dispositivo de MTJ 301 no aumenta significativamente, la magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de

$$TMR = \frac{R_1 - R_0}{R_0}$$

MTJ 301 no disminuye significativamente. Por ejemplo, usando $\frac{R_1 - R_0}{R_0}$, un aumento en la resistencia ΔR del dispositivo de MTJ 301 provocaría que la TMR del dispositivo de MTJ 301 disminuyera, debido a que

$$TMR_{\Delta R} = \frac{(R_1 + \Delta R) - (R_0 + \Delta R)}{(R_0 + \Delta R)} = \frac{R_1 - R_0}{R_0 + \Delta R} < \frac{R_1 - R_0}{R_0} = TMR$$

. La capa de nano-óxido 392 disminuye la densidad crítica de corriente de conmutación $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$ sin disminuir significativamente la TMR del dispositivo de MTJ 301. Una más pequeña densidad crítica de corriente de conmutación J_c puede permitir dispositivos más pequeños, formaciones de memorias de mayor densidad, un funcionamiento de menor energía, una frecuencia mayor de sincronismo o cualquier combinación de los mismos.

La dirección en la cual se pasa una corriente de escritura a través del dispositivo de MTJ 301 determina si el momento magnético 324 de la capa libre 312 está alineado para ser paralelo o anti-paralelo al momento magnético 325 de la capa inmovilizada 306. En una realización ilustrativa, un valor "1" de datos puede ser almacenado pasando una primera corriente de escritura desde el electrodo de acceso de línea de bits 302 al electrodo de transistor de acceso 314, para alinear el momento magnético 324 anti-paralelo al momento magnético 325. Un valor "0" de datos puede ser almacenado pasando una segunda corriente de escritura desde el electrodo de transistor de acceso 314 al electrodo de acceso de línea de bits 302, para alinear el momento magnético 324 paralelo al momento magnético 325.

Cuando se realiza una operación de lectura 322 en la STT-MRAM 300, una corriente de lectura puede fluir desde el electrodo de acceso de línea de bits 302 al origen 320, o la corriente de lectura puede fluir desde el origen 320 al

electrodo de acceso de línea de bits 302. En una realización específica, una dirección de la corriente de lectura puede ser determinada en base a cuál dirección proporciona la mayor señal de lectura. En una realización específica, cuando la operación de lectura 322 es realizada sobre el elemento de la STT-MRAM 300, una corriente de lectura fluye a través de la línea de bits (BL) 318, en una dirección desde el electrodo de acceso a línea de bits 302 al electrodo de transistor de acceso 314. La corriente de lectura a través del dispositivo de MTJ 301 encuentra una resistencia correspondiente a una orientación relativa del momento magnético 325 y el momento magnético 324. Cuando el momento magnético 325 de la capa inmovilizada 306 tiene una orientación paralela al momento magnético 324 de la capa libre 312, la corriente de lectura encuentra una resistencia distinta a aquella cuando el momento magnético 325 de la capa inmovilizada 306 tiene una orientación anti-paralela al momento magnético 324 de la capa libre 312. En general, cuando el momento magnético 325 de la capa inmovilizada 306 tiene una orientación paralela al momento magnético 324 de la capa 312, la corriente de lectura encuentra una resistencia menor que cuando el momento magnético 325 de la capa inmovilizada 306 tiene una orientación anti-paralela al momento magnético 324 de la capa libre 312.

La célula de bits, por lo tanto, puede ser usada como un elemento de un dispositivo de memoria, tal como una STT-MRAM 300. Al emplear una capa de nano-óxido 392 adecuada, la constante de amortiguación efectiva α_{ef} de la capa libre 312 puede ser reducida significativamente, disminuyendo una densidad crítica de corriente de conmutación $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$. El empleo de la capa de nano-óxido 392 puede disminuir la densidad crítica de corriente de conmutación $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$ sin aumentar significativamente la resistencia del dispositivo de MTJ 301. Debido a que la resistencia del dispositivo de MTJ 301 no aumenta significativamente, la magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de MTJ 301 no disminuye significativamente. Un funcionamiento a menor potencia y menos generación de calor pueden darse como resultado de la disminución de la densidad crítica de corriente de conmutación J_c sin disminuir significativamente la magneto-resistencia de tunelación (TMR) del dispositivo de MTJ 301, y también pueden ser habilitados el funcionamiento que usa longitudes más breves de pulsos de escritura y la mayor frecuencia de reloj.

Con referencia a la FIG. 4, se ilustra una realización ilustrativa de un sistema de memoria y se indica en general como 400. El sistema de memoria 400 incluye una formación de memorias 480, tal como una formación de memorias STT-MRAM, que incluye múltiples células de memoria, que incluyen una célula de memoria representativa 482 y un par representativo de células de referencia que almacenan un valor lógico alto R_1 470 y un valor lógico bajo R_0 472. Un amplificador detector 484 está acoplado para recibir una salida desde una célula de memoria seleccionada, además de recibir salidas desde las células de referencia. El amplificador detector 484 está configurado para producir una salida de amplificador 486 que indica un valor almacenado en la célula de memoria seleccionada.

La célula de memoria 482 incluye una estructura de MTJ 401 acoplada con un transistor de acceso 428. La estructura de MTJ 401 incluye un contacto superior 402, una capa de nano-óxido 492, una capa libre 412 con un momento magnético 424, una capa de barrera de túnel 408, una capa inmovilizada 406 con un momento magnético inmovilizado 425, una capa inmovilizadora anti-ferromagnética (AF) 404, una capa seminal 403 y un contacto inferior 418. El transistor de acceso 428 está acoplado con el contacto inferior 418 y acoplado con una línea de palabras 430 y una línea de origen 432.

El contacto superior 402 proporciona un primer contacto eléctrico a una línea de bits 422. La capa inmovilizadora AF 404 fija una orientación del momento magnético 425 de la capa inmovilizada 406. La capa inmovilizada 406 puede ser una capa inmovilizada anti-ferromagnética sintética que incluye múltiples capas, y puede ser similar a la capa inmovilizada 112 de la FIG. 1 o a la capa inmovilizada 212 de la FIG. 2. La capa de barrera de túnel 408 puede restringir el libre acceso de electrones pero habilitar una corriente tuneladora hacia la capa libre 412. La capa libre 412 puede almacenar un valor de datos como una orientación del momento magnético 424 que es programable por la aplicación de una corriente polarizada de giro que supera una corriente crítica de conmutación. La capa libre 412 está situada entre la capa de barrera de túnel 408 y la capa de nano-óxido 492. La capa de nano-óxido 492 está situada entre la capa libre 412 y el contacto superior 402 de la estructura de MTJ 401.

En una realización específica, la capa libre 412 es una capa compuesta que incluye una primera parte ferromagnética 410 y una segunda parte ferromagnética 490. En una realización específica, la primera parte ferromagnética 410 incluye cobalto y hierro. Por ejemplo, la primera parte ferromagnética 410 puede incluir CoFe, CoFe-X (tal como CoFeB), CoFe-X-Y, o cualquier combinación de los mismos. En una realización específica, la segunda parte ferromagnética 490 incluye níquel y hierro. Por ejemplo, la segunda parte ferromagnética 490 puede incluir NiFe, permalloy (aleación 80/20 de níquel y hierro) o cualquier combinación de los mismos.

La capa de nano-óxido 492 puede disminuir la densidad crítica de corriente de conmutación J_c de la estructura de MTJ 401 sin disminuir significativamente la magneto-resistencia de tunelación (TMR) de la estructura de MTJ 401, de una manera esencialmente similar a la capa de nano-óxido 392 de la FIG. 3. La capa de nano-óxido 492 puede disminuir la densidad crítica de corriente de conmutación $J_c \propto \alpha_{ef} (M_S)^2 t_{libre}$ sin aumentar significativamente una resistencia de la estructura de MTJ 401, de una manera esencialmente similar a la capa de nano-óxido 392 de la FIG. 3.

La formación de memorias 480 ilustrada en la FIG. 4 puede incluir múltiples células, esencialmente similares a la célula de memoria representativa 482. La formación de memorias 480, o cualquier otra formación de células que use el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3 o la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4, puede ser implementada en una memoria incrustada, tal como una memoria caché de nivel dos (L2) u otro tipo de memoria incrustada, como un ejemplo ilustrativo. Una formación de ese tipo de células de MTJ puede ser implementada como una memoria STT-MRAM para reemplazar formaciones de memorias que usan tecnologías de memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM) o memoria flash, por ejemplo.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de una realización ilustrativa 500 de un procedimiento de formación de un dispositivo de unión túnel magnética (MTJ). En la realización ilustrativa 500, el dispositivo de MTJ puede ser el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3 o la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4. En la realización ilustrativa 500, el procedimiento incluye formar una unión túnel magnética formando una capa inmovilizadora anti-ferromagnética (AF) encima de un contacto inferior, en 502, formando una capa inmovilizada encima de la capa inmovilizadora anti-ferromagnética (AF), en 504, formando una capa de barrera de túnel encima de la capa inmovilizada, en 506, y formando una capa libre encima de la capa de barrera de túnel, en 508.

Avanzando a 510, se forma una capa de realce de fuerza de par de giro encima de la capa libre, incluyendo la capa de realce de fuerza de par de giro una capa de nano-óxido. Por ejemplo, la capa de realce de fuerza de par de giro que incluye la capa de nano-óxido 118 de la FIG. 1 puede ser formada encima de la capa libre 116 de la FIG. 1. De manera similar, la capa de realce de fuerza de par de giro que incluye la capa de nano-óxido 218 de la FIG. 2 puede ser formada encima de la capa libre 216 de la FIG. 2. Análogamente, la capa de nano-óxido 392 de la FIG. 3 puede ser formada encima de la capa libre 312 de la FIG. 3. De manera similar, la capa de nano-óxido 492 de la FIG. 4 puede ser formada encima de la capa libre 412 de la FIG. 4.

Continuando en 512, la capa de nano-óxido puede ser formada oxidando una aleación metálica no magnética. Por ejemplo, una aleación metálica no magnética de aluminio y cobre $Al_{90}Cu_{10}$ puede ser depositada sobre la capa libre 116 de la FIG. 1, y oxidada para formar un material aislante de óxido de aluminio Al_2O_3 126 de la FIG. 1, formando el metal no oxidado de la aleación dichas una o más islas conductoras 122 de la FIG. 1, y dichos uno o más trayectos conductores 124 de la FIG. 1. Para otro ejemplo, un metal no magnético Mg puede ser depositado sobre la capa libre 116 de la FIG. 1, y parcialmente oxidado para formar un material aislante de óxido de magnesio MgO 126 de la FIG. 1, formando el metal no oxidado de Mg dichas una o más islas conductoras 122 de la FIG. 1 y dichos uno o más trayectos conductores 124 de la FIG. 1.

El depósito y formación de los materiales y las capas pueden ser controlados por un procesador integrado en un dispositivo electrónico. Por ejemplo, el dispositivo electrónico puede ser un ordenador configurado para controlar maquinaria de fabricación.

En otras realizaciones, el procedimiento de la FIG. 5 puede ser realizado en un orden que es distinto al ilustrado. Por ejemplo, la capa de realce de fuerza de par de giro, que incluye la capa de nano-óxido, puede ser formada antes de la formación de la capa libre. En una realización alternativa, el dispositivo de MTJ que se forma puede tener una estructura inversa a la ilustrada en la FIG. 3, con la capa de nano-óxido más cerca del sustrato que la capa libre, y con la capa libre más cerca de la línea de bits que la capa de nano-óxido.

La FIG. 6 es un diagrama de bloques de una realización específica de un sistema 600 que incluye un módulo que tiene estructuras de MTJ, cada una de las cuales incluye una capa de nano-óxido 664. El sistema 600 puede ser implementado en un dispositivo electrónico portátil e incluye un procesador 610, tal como un procesador de señales digitales (DSP), acoplado con un medio legible por ordenador, tal como una memoria 632, que almacena instrucciones legibles por ordenador, tal como el software 667. El sistema 600 incluye el módulo que tiene estructuras de MTJ con una capa de nano-óxido 664. En un ejemplo ilustrativo, el módulo que tiene estructuras de MTJ 664 incluye cualquiera de las estructuras de MTJ de las FIGs. 1 a 4, producidas de acuerdo a cualquiera de las realizaciones de la FIG. 5 o la FIG. 7, o cualquiera combinación de las mismas. El módulo que tiene estructuras de MTJ 664 puede estar en el procesador 610 o puede ser un dispositivo o circuitos individuales (no mostrados). En una realización específica, según se muestra en la FIG. 6, el módulo que tiene las estructuras de MTJ 664 es accesible para el procesador de señales digitales (DSP) 610. En otra realización específica, la memoria 632 puede incluir una formación de memorias STT-MRAM que incluye el módulo que tiene las estructuras de MTJ 664.

Una interfaz de cámara 668 está acoplada con el procesador 610 y también está acoplada con una cámara, tal como una cámara de vídeo 670. Un controlador de visor 626 está acoplado con el procesador 610 y con un dispositivo visor 628. Un codificador / descodificador (CODEC) 634 también puede estar acoplado con el procesador 610. Un altavoz 636 y un micrófono 638 pueden estar acoplados con el CODEC 634. Una interfaz inalámbrica 640 puede estar acoplada con el procesador 610 y con una antena inalámbrica 642.

En una realización específica, el procesador 610, el controlador de visor 626, la memoria 632, el CODEC 643, la interfaz inalámbrica 640 y la interfaz de cámara 668 están incluidos en un dispositivo 622 de sistema-en-un-paquete o sistema-en-un-chip. En una realización específica, un dispositivo de entrada 630 y una fuente de alimentación 644 están acoplados con el dispositivo 622 de sistema-en-un-chip. Además, en una realización específica, según se
 5 ilustra en la FIG. 6, el dispositivo visor 628, el dispositivo de entrada 630, el altavoz 636, el micrófono 638, la antena inalámbrica 642, la cámara de vídeo 670 y la fuente de alimentación 644 son externos al dispositivo 622 de sistema-en-un-chip. Sin embargo, cada uno entre el dispositivo visor 628, el dispositivo de entrada 630, el altavoz 636, el micrófono 638, la antena inalámbrica 642, la cámara de vídeo 670 y la fuente de alimentación 644 puede estar acoplado con un componente del dispositivo 622 de sistema-en-un-chip, tal como una interfaz o un controlador.

Los precedentes dispositivos y funcionalidades divulgados (tales como los dispositivos de la FIG. 1, la FIG. 2, la FIG. 3 o la FIG. 4, el procedimiento de la FIG. 5, o cualquier combinación de los mismos) pueden ser diseñados y configurados en ficheros de ordenador (p. ej., RTL, GDSII, GERBER, etc.) almacenados en medios legibles por ordenador. Algunos de, o todos, los ficheros de ese tipo pueden ser proporcionados a gestores de fabricación, que
 15 fabrican dispositivos en base a tales ficheros. Los productos resultantes incluyen obleas semiconductoras que son luego cortadas en troquel semiconductor y empaquetadas en un chip semiconductor. Los chips semiconductores son luego empleados en dispositivos electrónicos. La FIG. 7 ilustra una realización ilustrativa específica de un proceso de fabricación de dispositivos electrónicos 700.

La información de dispositivo físico 702 es recibida en el proceso de fabricación 700, tal como en un ordenador de investigación 706. La información de dispositivo físico 702 puede incluir información de diseño que representa al menos una propiedad física de un dispositivo semiconductor, tal como el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4 o cualquiera combinación de los
 20 mismos. Por ejemplo, la información de dispositivo físico 702 puede incluir parámetros físicos, características materiales e información estructural que es ingresada mediante una interfaz de usuario 704 acoplada con el ordenador de investigación 706. El ordenador de investigación 706 incluye un procesador 708, tal como uno o más núcleos de procesamiento, acoplado con un medio legible por ordenador, tal como una memoria 710. La memoria 710 puede almacenar instrucciones legibles por ordenador que sean ejecutables para provocar que el procesador 708 transforme la información de dispositivo físico 702 para cumplimentar un formato de fichero y para generar un fichero de biblioteca 712.

En una realización específica, el fichero de biblioteca 712 incluye al menos un fichero de datos que incluye la información de diseño transformada. Por ejemplo, el fichero de biblioteca 712 puede incluir una biblioteca de dispositivos semiconductores que incluyen el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4 o cualquier combinación de los mismos, que se proporcione para su uso con una herramienta de automatización de diseño electrónico (EDA) 720.

El fichero de biblioteca 712 puede ser usado conjuntamente con la herramienta de EDA 720 en un ordenador de diseño 714 que incluye un procesador 716, tal como uno o más núcleos de procesamiento, acoplado con una memoria 718. La herramienta de EDA 720 puede ser almacenada como instrucciones ejecutables por procesador en la memoria 718, para permitir a un usuario del ordenador de diseño 714 diseñar un circuito, usando el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4, o cualquier combinación de los mismos, del fichero de biblioteca 712. Por ejemplo, un usuario del ordenador de diseño 714 puede ingresar información de diseño 722 mediante una interfaz de usuario 724 acoplada con el ordenador de diseño 714. La información de diseño de circuitos 722 puede incluir información de diseño que represente al menos una propiedad física de un dispositivo semiconductor, tal como el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4 o cualquier combinación de los mismos. Para
 45 ilustrar, la propiedad de diseño de circuitos puede incluir la identificación de circuitos específicos y relaciones con otros elementos en un diseño de circuito, información de localización, información de tamaño de características, información de interconexión, u otra información que represente una propiedad física de un dispositivo semiconductor.

El ordenador de diseño 714 puede ser configurado para transformar la información de diseño, incluyendo la información de diseño de circuitos 722, para cumplimentar un formato de fichero. Para ilustrar, la formación de ficheros puede incluir un formato de fichero binario de base de datos que represente formas geométricas planas, etiquetas de texto y otra información acerca de un diseño de circuito en un formato jerárquico, tal como un formato de fichero del Sistema de Datos Gráficos (GDSII). El ordenador de diseño 714 puede ser configurado para generar un fichero de datos que incluya la información de diseño transformada, tal como un fichero GDSII 726 que incluye información que describe el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4, o cualquier combinación de los mismos, además de otros circuitos u otra información. Para ilustrar, el fichero de datos puede incluir información correspondiente a un sistema-en-un-chip
 60
 65

(SOC) que incluye la formación de memorias 480 de la FIG. 4 y que también incluye circuitos y componentes electrónicos adicionales dentro del SOC.

5 El fichero GDSII 726 puede ser recibido en un proceso de fabricación 728 para fabricar el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4, o cualquier combinación de los mismos, de acuerdo a la información transformada en el fichero GDSII 726. Por ejemplo, un proceso de fabricación de dispositivo puede incluir proporcionar el fichero GDSII 726 a un fabricante de máscaras 730 para crear una o más máscaras, tales como las máscaras a utilizar para el procesamiento de foto-litografía, 10 ilustradas como una máscara representativa 732. La máscara 732 puede ser usada durante el proceso de fabricación para generar una o más obleas 734, que pueden ser probadas y separadas en troqueles, tales como un troquel representativo 736. El troquel 736 incluye un circuito que incluye el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4 o cualquier combinación de los 15 mismos.

El troquel 736 puede ser proporcionado a un proceso de embalaje 738, donde el troquel 736 es incorporado a un paquete representativo 740. Por ejemplo, el paquete 740 puede incluir el troquel individual 736 o múltiples troqueles, tales como una disposición de sistema-en-un-paquete (SiP). El paquete 740 puede ser configurado para ser 20 conforme a una o más normas o especificaciones, tales como las normas del Consejo Conjunto de Ingeniería de Dispositivos Electrónicos (JEDEC).

La información con respecto al paquete 740 puede ser distribuida a diversos diseñadores de productos, tal como mediante una biblioteca de componentes almacenada en un ordenador 746. El ordenador 746 puede incluir un procesador 748, tal como uno o más núcleos de procesamiento, acoplado con una memoria 750. Una herramienta de placas de circuitos impresos (PCB) puede estar almacenada como instrucciones ejecutables por procesador en la memoria 750, para procesar la información de diseño de PCB 742 recibida desde un usuario del ordenador 746 mediante una interfaz de usuario 744. La información de diseño de PCB 742 puede incluir información de localización física de un dispositivo semiconductor empaquetado en una placa de circuitos, correspondiendo el 25 dispositivo semiconductor empaquetado al paquete 740 que incluye el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4 o cualquier combinación de los mismos.

35 El ordenador 746 puede ser configurado para transformar la información de diseño de PCB 742, para generar un fichero de datos, tal como un fichero GERBER 752, con datos que incluyen información de localización física de un dispositivo semiconductor empaquetado en una placa de circuitos, así como el diseño de conexiones eléctricas, tales como rastros y vías, donde el dispositivo semiconductor empaquetado corresponde al paquete 740 que incluye el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, 40 la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4, o cualquier combinación de los mismos. En otras realizaciones, el fichero de datos generado por la información transformada de diseño de PCB puede tener un formato distinto a un formato GERBER.

45 El fichero GERBER 752 puede ser recibido en un proceso de ensamblaje de placa 754 y usado para crear las PCB, tal como una PCB representativa 756, fabricada de acuerdo a la información de diseño almacenada dentro del fichero GERBER 752. Por ejemplo, el fichero GERBER 752 puede ser cargado en una o más máquinas para realizar diversas etapas de un proceso de producción de PCB. La PCB 756 puede estar poblada de componentes electrónicos que incluyen el paquete 740 para formar un montaje de circuitos impresos (PCA) 758 representativo.

50 El PCA 758 puede ser recibido en un proceso de fabricación de productos 760 e integrado en uno o más dispositivos electrónicos, tales como un primer dispositivo electrónico representativo 762 y un segundo dispositivo electrónico representativo 764. Como un ejemplo ilustrativo, no limitador, el primer dispositivo electrónico representativo 762, el segundo dispositivo electrónico representativo 764, o ambos, pueden ser seleccionados entre el grupo de un equipo de sobremesa, un reproductor de música, un reproductor de vídeo, una unidad de entretenimiento, un dispositivo de navegación, un dispositivo de comunicaciones, un asistente digital personal (PDA), una unidad de datos de ubicación fija y un ordenador. Como otro ejemplo ilustrativo, no limitador, uno o más de los dispositivos electrónicos 55 762 y 764 pueden ser unidades remotas tales como teléfonos móviles, unidades de sistemas de comunicación personal (PCS) de mano, unidades de datos portátiles tales como asistentes personales de datos, dispositivos habilitados para el sistema de localización global (GPS), dispositivos de navegación, unidades de datos de ubicación fija tales como equipos de lectura de contadores, o cualquier otro dispositivo que almacene o extraiga datos o instrucciones de ordenador, o cualquier combinación de los mismos. Aunque la FIG. 7 ilustra unidades remotas de acuerdo a las revelaciones de la divulgación, la divulgación no está limitada a estas unidades ejemplares ilustradas. Las realizaciones de la divulgación pueden ser empleadas adecuadamente en cualquier dispositivo que incluya 60 circuitos integrados activos que incluyan memoria y circuitos a bordo del chip.

65

Por tanto, el dispositivo de MTJ 100 de la FIG. 1, el dispositivo de MTJ 200 de la FIG. 2, el dispositivo de MTJ 301 de la FIG. 3, la formación de memorias 480 de la FIG. 4, la célula de memoria 482 de la FIG. 4, la estructura de MTJ 401 de la FIG. 4, o cualquier combinación de los mismos, pueden ser fabricados, procesados e incorporados a un dispositivo electrónico, según se describe en el proceso ilustrativo 700. Uno o más aspectos de las realizaciones divulgadas con respecto a las FIGs. 1 a 5 pueden ser incluidos en diversas etapas de procesamiento, tal como dentro del fichero de biblioteca 712, el fichero GDSII 726 y el fichero GERBER 752, así como almacenados en la memoria 710 del ordenador de investigación 706, la memoria 718 del ordenador de diseño 714, la memoria 750 del ordenador 746, la memoria de uno o más entre otros ordenadores o procesadores (no mostrados) usados en las diversas etapas, tal como en el proceso de montaje de placas 754, y también incorporados en una o más entre otras realizaciones físicas, tales como la máscara 732, el troquel 736, el paquete 740, el PCA 758, otros productos tales como circuitos o dispositivos prototípicos (no mostrados), o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, el fichero GDSII 726 o el proceso de fabricación 728 puede incluir un medio tangible, legible por ordenador, que almacene instrucciones ejecutables por un ordenador, incluyendo las instrucciones instrucciones que son ejecutables por el ordenador para iniciar la formación de una capa libre encima de una capa de barrera de túnel de una estructura de unión túnel magnética, e instrucciones que son ejecutables por el ordenador para iniciar la formación de una capa de realce de fuerza de par de giro encima de la capa libre, incluyendo la capa de realce de fuerza de par de giro una capa de nano-óxido. Aunque se ilustran diversas etapas representativas de producción, desde un diseño de dispositivo físico hasta un producto final, en otras realizaciones pueden usarse menos etapas, o pueden incluirse etapas adicionales. De manera similar, el proceso 700 puede ser realizado por una única entidad, o por una o más entidades que realicen diversas etapas del proceso 700.

Los expertos apreciarán además que los diversos bloques lógicos ilustrativos, configuraciones, módulos, circuitos y etapas de procedimiento descritos con relación a las realizaciones divulgadas en la presente memoria pueden ser implementados como hardware electrónico, software de ordenador ejecutado por una unidad de procesamiento, o combinaciones de ambos. Diversos componentes ilustrativos, bloques, configuraciones, módulos, circuitos y etapas han sido descritos en lo que antecede, en general, en términos de su funcionalidad. Si tal funcionalidad es implementada como hardware, o instrucciones de procesamiento ejecutables, depende de la aplicación específica y de las restricciones de diseño impuestas sobre el sistema global. Los artesanos expertos pueden implementar la funcionalidad descrita de maneras variables para cada aplicación específica, pero tales decisiones de implementación no deberían ser interpretadas como causantes de un alejamiento del ámbito de la presente divulgación.

Las etapas de un procedimiento o algoritmo descrito con relación a las realizaciones divulgadas en la presente memoria pueden ser realizadas directamente en hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador, o en una combinación de los dos. Un módulo de software puede residir en una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de acceso aleatorio magneto-resistente (MRAM), una memoria de acceso aleatorio magneto-resistente de transferencia de fuerza de par de giro (STT-MRAM), una memoria flash, una memoria de solo lectura (ROM), una memoria programable de solo lectura (PROM), una memoria borrrable y programable de solo lectura (EPROM), una memoria eléctricamente borrrable y programable de solo lectura (EEPROM), registros, un disco rígido, un disco extraíble, una memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), o cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocido en la técnica. Un medio de almacenamiento ejemplar está acoplado al procesador de modo que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. Como alternativa, el medio de almacenamiento puede estar integrado en el procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC). El ASIC puede residir en un dispositivo informático o un terminal de usuario. Como alternativa, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un dispositivo informático o terminal de usuario.

La descripción anterior de las realizaciones divulgadas se proporciona para permitir a cualquier persona experta en la técnica hacer o usar las realizaciones divulgadas. Diversas modificaciones para estas realizaciones serán inmediatamente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios definidos en la presente memoria pueden ser aplicados a otras realizaciones sin apartarse del ámbito de la divulgación. Por tanto, la presente divulgación no está concebida para limitarse a las realizaciones mostradas en la presente memoria, sino que ha de acordársele el más amplio ámbito congruente con los principios y características novedosas, según lo definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato que comprende:
 - 5 un dispositivo de unión túnel magnética (200) que comprende:
 - una capa libre (216); y
 - una capa de realce de fuerza de par de giro (218), sensible a la capa libre (216),
 - 10 en el que la capa de realce de fuerza de par de giro (218) comprende una capa de nano-óxido y el dispositivo de unión túnel magnética (200) comprende además una capa de culminación (222) adyacente a la capa de realce de fuerza de par de giro (218), **caracterizado porque** la capa de nano-óxido incluye una capa de oxidación de una aleación metálica no magnética.
- 15 2. El aparato de la reivindicación 1, en el que la capa de nano-óxido comprende un material aislante (226) que incluye un óxido de magnesio.
- 20 3. El aparato de la reivindicación 1, en el que la capa libre (216) es una capa individual, una capa compuesta por dos capas ferromagnéticas, una capa compuesta por dos capas ferromagnéticas que tienen entre sí una capa separadora no magnética, una capa anti-ferromagnética sintética o una capa ferromagnética sintética.
- 25 4. El aparato de la reivindicación 1, en el que la capa de realce de fuerza de par de giro (218), que comprende la capa de nano-óxido, comprende además una o más islas conductoras de material conductor, extendiéndose a través de las mismas, y uno o más trayectos conductores (224) de material conductor, extendiéndose a través de los mismos, rodeados, dichas una o más islas conductores y dichos uno o más trayectos conductores (224), por material aislante (226).
- 30 5. El aparato de la reivindicación 1, en el que la capa de realce de fuerza de par de giro (218) reduce un umbral de densidad crítica de corriente de conmutación sin disminuir significativamente una magneto-resistencia de tunelación del dispositivo de unión túnel magnética (200), o sin aumentar significativamente una resistencia del dispositivo de unión túnel magnética (200).
- 35 6. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una capa de barrera de túnel (214), adyacente a la capa libre (216), y una capa inmovilizada (212), adyacente a la capa de barrera de túnel (214).
7. El aparato de la reivindicación 1, integrado en al menos un troquel semiconductor.
- 40 8. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una formación de memorias que incluye el dispositivo de unión túnel magnética (200).
- 45 9. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una capa de barrera de túnel (214), adyacente a la capa libre (216), en el que la capa de realce de fuerza de par de giro (218) es adyacente a la capa libre (216), y está entre la capa libre (216) y un contacto eléctrico (220) del dispositivo de unión túnel magnética (200).
10. Un aparato que comprende:
 - 50 un dispositivo de unión túnel magnética (200) que comprende:
 - medios (216) para almacenar un valor de datos como una orientación de un momento magnético que es programable por una corriente polarizada de giro que supera una densidad de corriente de umbral;
 - 55 medios de barrera de tunelación (214) para proporcionar electrones de conducción al medio para almacenar, por tunelación mecánica cuántica de los electrones de conducción a través de una barrera; y
 - 60 medios de realce de fuerza de par de giro (218) para reducir un umbral de densidad crítica de corriente de conmutación, sin disminuir significativamente una magneto-resistencia de tunelación del dispositivo de unión túnel magnética (200), en donde el medio para almacenar (216) está situado entre el medio de barrera de tunelación (214) y el medio de realce de fuerza de par de giro (218),
 - en el que
 - 65 el medio de realce de fuerza de par de giro (218) incluye una capa de nano-óxido y el dispositivo de unión túnel magnética (200) comprende además medios (222) de culminación, adyacentes a la capa de realce de

fuerza de par de giro (218), **caracterizado porque** la capa de nano-óxido incluye una capa de oxidación de una aleación metálica no magnética.

- 5 11. Un procedimiento que comprende:
- 5 formar (508) una capa libre (216) encima de una capa de barrera de túnel de una estructura de unión túnel magnética; y
- 10 formar (510) una capa de realce de fuerza de par de giro (218) encima de la capa libre (216), **caracterizado porque** la capa de realce de fuerza de par de giro (218) comprende una capa de nano-óxido, y porque el procedimiento comprende además formar una capa de culminación (222) adyacente a la capa de realce de fuerza de par de giro (218), en donde la capa de nano-óxido se forma oxidando una aleación metálica no magnética.
- 15 12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que la formación de la capa libre y la formación de la capa de realce de fuerza de par de giro están controladas por un procesador integrado en un dispositivo electrónico.
- 20 13. Un medio tangible, legible por ordenador, que almacena instrucciones ejecutables por un ordenador, comprendiendo las instrucciones instrucciones que son ejecutables por el ordenador para iniciar las etapas del procedimiento de la reivindicación 11.

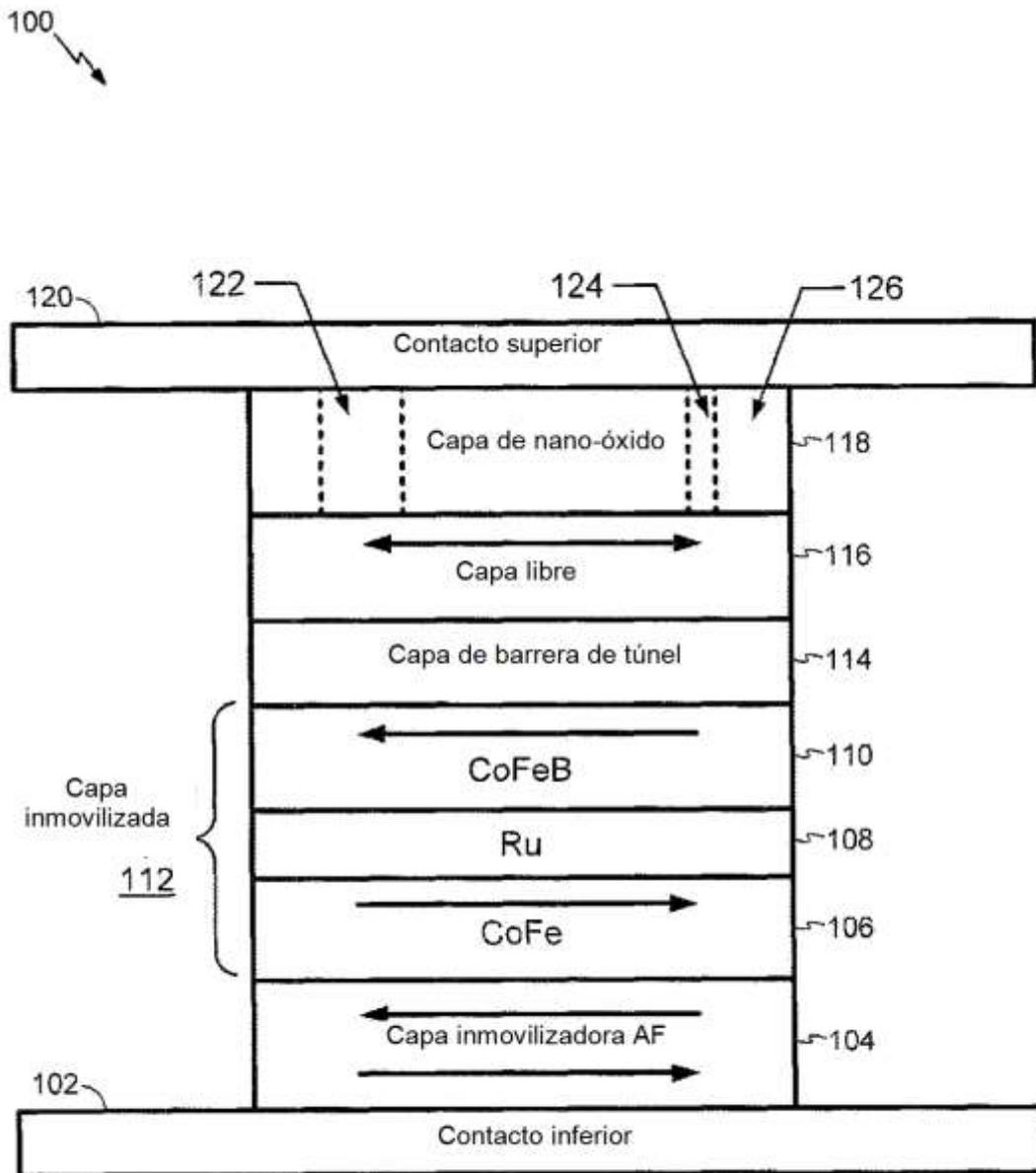


FIG. 1

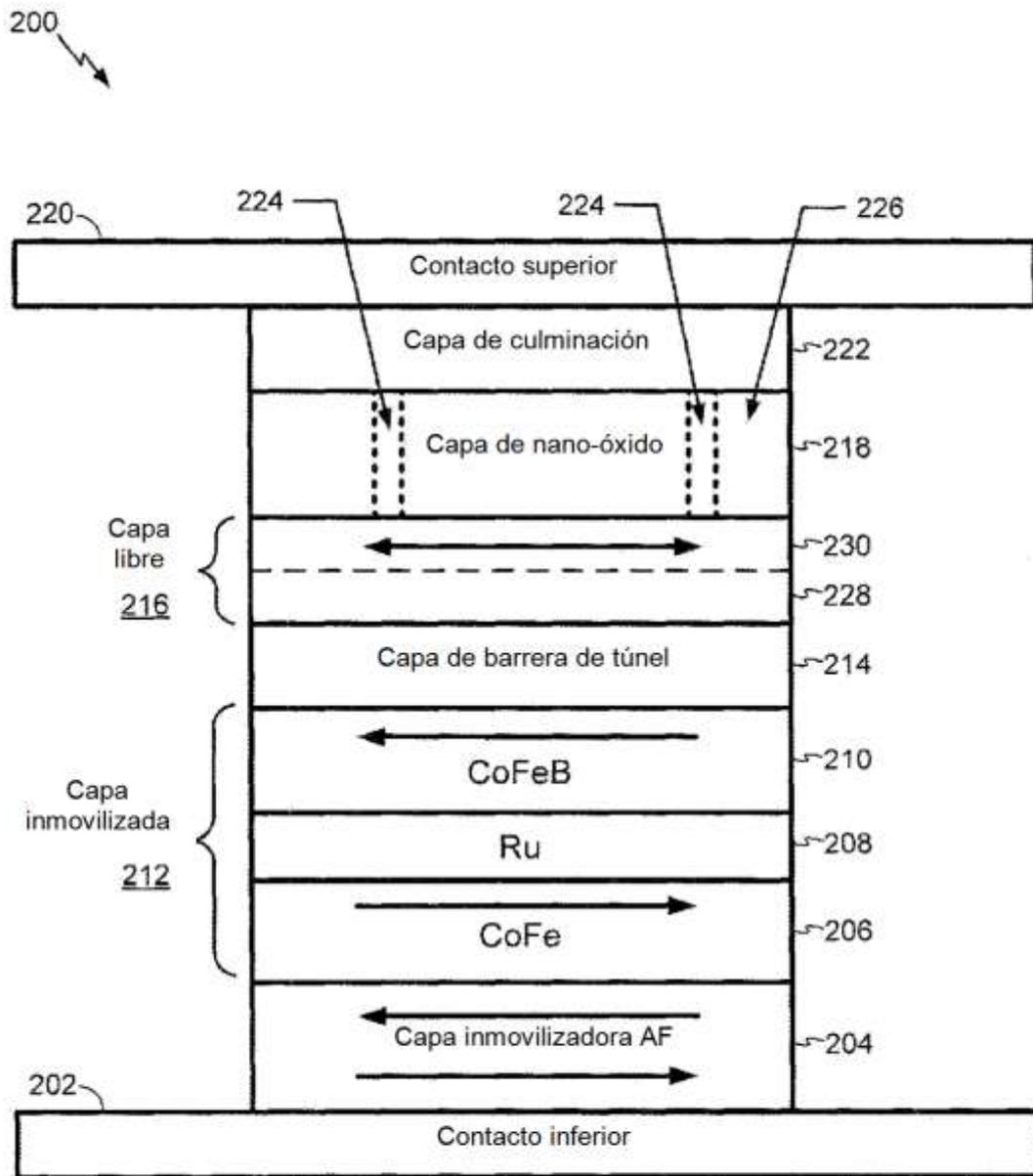


FIG. 2

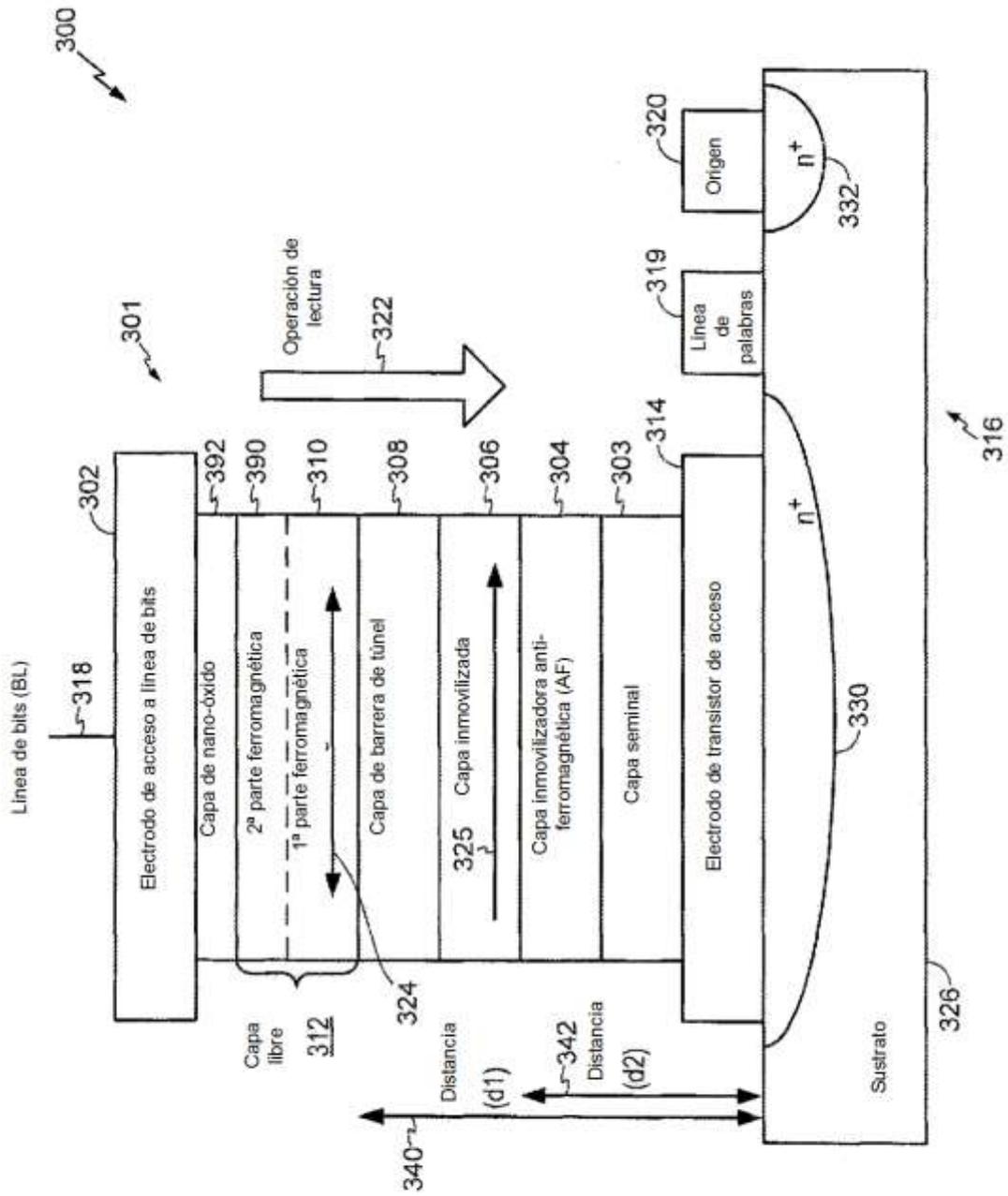


FIG. 3

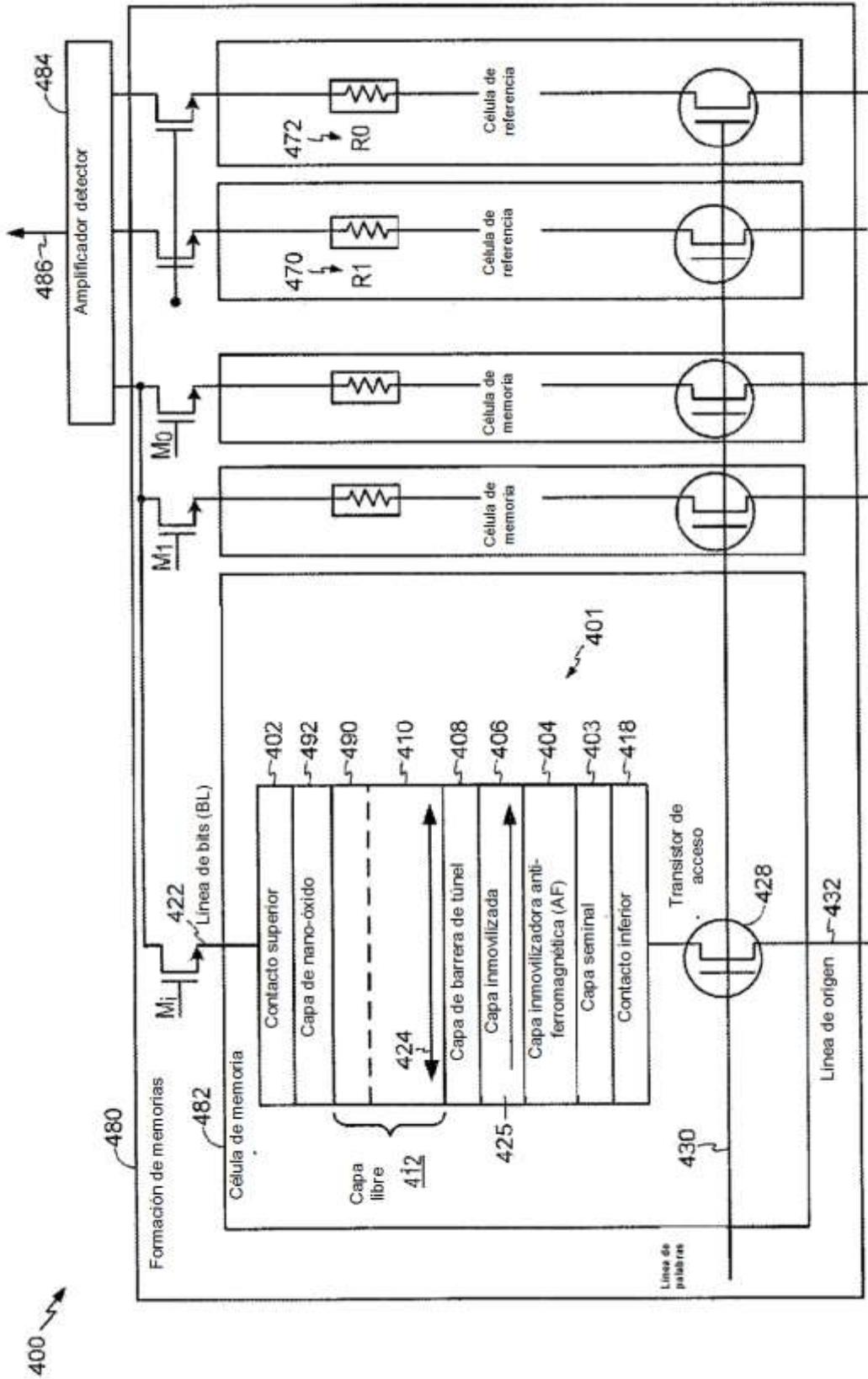


FIG. 4

500 ↘

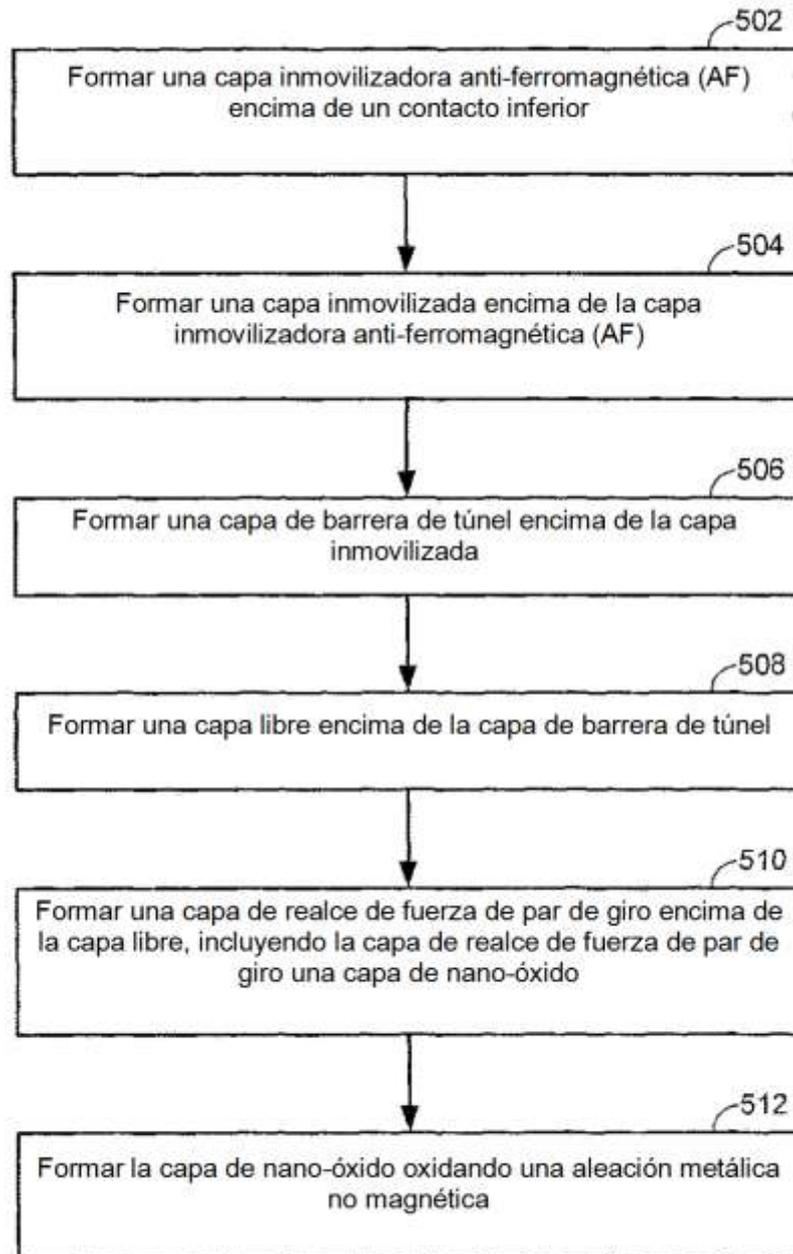


FIG. 5

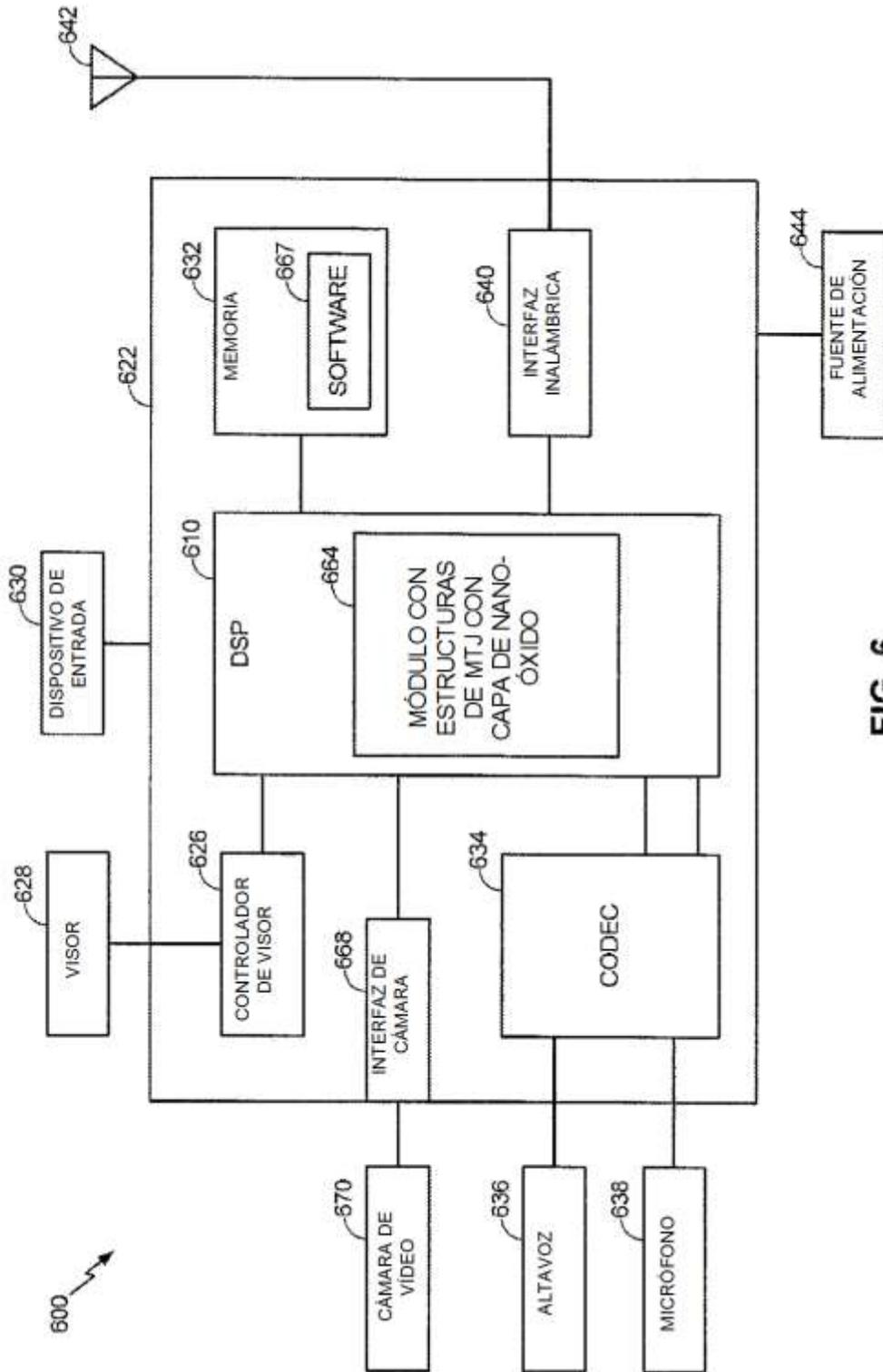


FIG. 6

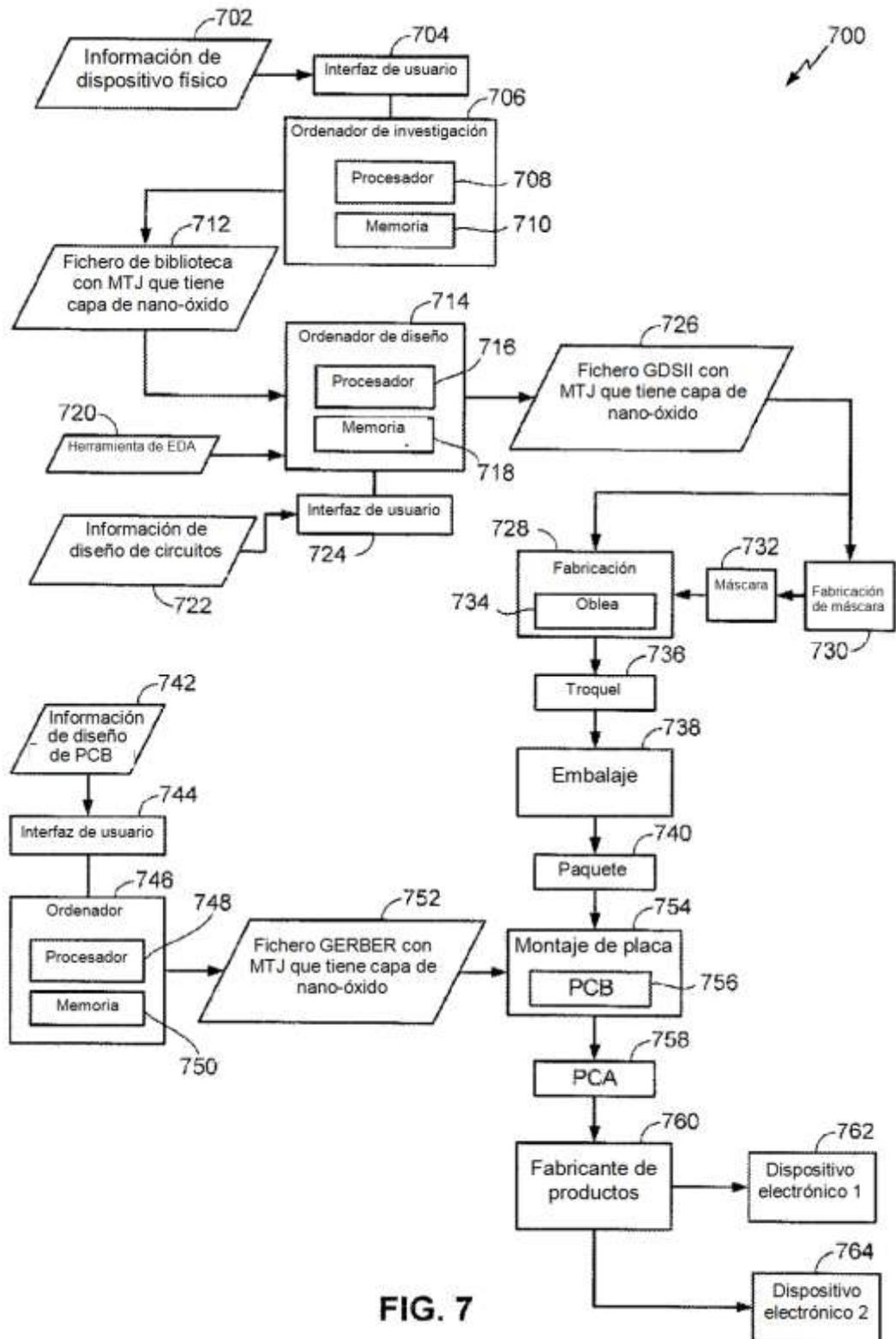


FIG. 7