

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 487 627**

51 Int. Cl.:

G11C 11/16 (2006.01)

H01F 10/32 (2006.01)

H01L 43/08 (2006.01)

H01L 27/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2010** **E 10765114 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014** **EP 2419933**

54 Título: **Unión túnel magnética (MTJ) y procedimiento de formación de la misma**

30 Prioridad:

14.04.2009 US 423298

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

22.08.2014

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
Attn: International IP Administration 5775
Morehouse Drive
San Diego, CA 92121, US

72 Inventor/es:

ZHU, XIAOCHUN;
NOWAK, MATTHEW;
LI, XIA y
KANG, SEUNG H.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 487 627 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

Unión túnel magnética (MTJ) y procedimiento de formación de la misma

Antecedentes**I. Campo de la divulgación**

- 5 La tecnología de la presente solicitud versa, en general, sobre uniones túnel magnéticas (MTJ), procedimientos relacionados y el uso de una MTJ en una memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM).

II. Antecedentes

La memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM) es una memoria no volátil en la que los datos se almacenan programando una unión túnel magnética (MTJ). La MRAM es ventajosa, porque puede usarse una MTJ para almacenar información incluso cuando está cortada la alimentación. Los datos se almacenan en la MTJ como un pequeño elemento magnético, no como una carga o una corriente eléctrica. En la Figura 1 se ilustra una MTJ 10 ejemplar. Los datos se almacenan en la MTJ 10 según la orientación magnética entre dos capas: una capa libre 12 dispuesta por encima de una capa fija o inmovilizada 14. Las capas libre e inmovilizada 12, 14 están formadas de un material ferromagnético. La MTJ 10 está configurada en una configuración convencional de "válvula inferior de espín" en la que la capa inmovilizada 14 está dispuesta debajo de la capa libre 12. Las capas libre e inmovilizada 12, 14 están separadas por una unión o barrera túnel 16 formada por una capa dieléctrica delgada no magnética. Las capas libre e inmovilizada 12, 14 pueden almacenar información incluso cuando el campo magnético H es '0' debido al ciclo 18 de histéresis de la MTJ 10. Los electrones pueden atravesar la barrera túnel 16 si se aplica una tensión de polarización entre dos electrodos 20, 22 acoplados a los extremos de la MTJ 10. La corriente de tunelización depende de la orientación relativa de las capas libre e inmovilizada 12, 14. Cuando se usa una MTJ de par de transferencia de espín (STT), la diferencia en la corriente de tunelización cuando el alineamiento del espín de las capas libre e inmovilizada se conmuta entre P y AP se denomina relación de magnetorresistencia túnel (TMR).

Cuando la orientación magnética de las capas libre e inmovilizada 12, 14 es mutuamente antiparalela (AP) (mostrado en la Figura 1 como MTJ 10'), existe un primer estado de memoria (por ejemplo, un '1' lógico). Cuando la orientación magnética de las capas libre e inmovilizada 12, 14 es mutuamente paralela (P) (mostrado en la Figura 1 como MTJ 10''), existe un segundo estado de memoria (por ejemplo, un '0' lógico). La orientación magnética de las capas libre e inmovilizada 12, 14 puede ser detectada para leer datos almacenados en la MTJ 10 detectando la resistencia cuando la corriente fluye a través de la MTJ 10. También pueden escribirse y almacenarse datos en la MTJ 10 aplicando un campo magnético para cambiar la orientación de una capa ferromagnética libre 12 a una orientación magnética ya sea P o AP con respecto a la capa inmovilizada 14. La orientación magnética de la capa libre 12 puede cambiar, pero la orientación magnética de la capa inmovilizada 14 es fija.

La Figura 2 ilustra una MTJ 23 de STT (a la que se hace referencia como "MTJ 23") de diseño similar a la MTJ 10 de la Figura 1. Se proporciona la MTJ 23 como parte de una célula 24 de un bit de MRAM para almacenar datos no volátiles. La célula 24 de un bit de MRAM puede ser proporcionada en una matriz de memoria y ser usada como almacenamiento de memoria para cualquier tipo de sistema que requiera memoria electrónica, tal como una unidad de procesamiento de ordenador (CPU) o un sistema basado en procesadores, como ejemplos. Se proporciona un transistor 26 de acceso de semiconductor de óxido metálico (normalmente, un MOS de tipo n, es decir, NMOS) para controlar la lectura y la escritura en la MTJ 23. El drenador (D) del transistor 26 de acceso está acoplado al electrodo inferior 22 de la MTJ 23, acoplado a la capa inmovilizada 14. Una línea de escritura (V_{WL}) está acoplada a la puerta (G) del transistor 26 de acceso. La fuente (S) del transistor 26 de acceso está acoplada a una fuente de tensión (V_S). Una línea de bit (V_{BL}) está acoplada al electrodo superior 20 de la MTJ 23, que está acoplado a la capa libre 12.

Cuando se leen datos almacenados en la MTJ 23, se activa la línea de bit (V_{BL}) para el transistor 26 de acceso para permitir que fluya corriente por la MTJ 23 entre los electrodos 20, 22. Una orientación P entre las capas libre e inmovilizada 12, 14 lleva asociada una baja resistencia, medida por la tensión aplicada en la línea de bit (V_{BL}) dividida por la corriente medida. Una orientación AP entre las capas libre e inmovilizada 12, 14 lleva asociada una resistencia mayor. Cuando se escriben datos a la MTJ 23, se activa la puerta (G) del transistor 26 de acceso activando la línea de escritura (V_{WL}). Se aplica una tensión diferencial entre la línea de bit (V_{BL}) y la línea de fuente (V_S). En consecuencia, se genera una corriente de escritura (I) entre el drenador (D) y la fuente (S). Si ha de cambiarse la orientación magnética de AP a P, se genera una corriente de escritura (I_{AP-P}) que fluye del electrodo superior 20 al electrodo inferior 22, que induce un par de transferencia de espín (STT) en la capa libre 12 para cambiar la orientación magnética de la capa libre 12 a P con respecto a la capa inmovilizada 14. Si ha de cambiarse la orientación magnética de P a AP, se produce una corriente (I_{P-AP}) que fluye del electrodo inferior 22 al electrodo superior 20, que induce un STT en la capa libre 12 para cambiar la orientación magnética de la capa libre 12 a AP con respecto a la capa inmovilizada 14.

Según se ilustra en la Figura 2, la circuitería puede suministrar más corriente de escritura (I) para conmutar la MTJ 23 de la célula 24 de un bit de MRAM de un estado AP a uno P (I_{AP-P}) que de un estado P a uno AP (I_{P-AP}). Esto se debe a la carga de la fuente del transistor 26 de acceso de la célula 24 de un bit de MRAM. La carta de la fuente

del transistor 26 de acceso tiene el efecto de proporcionar más corriente de escritura corriente de escritura (I) para conmutar la MTJ 23 de un estado AP a uno P que de un estado P a uno AP. Sin embargo, las características magnéticas inherentes de la MTJ 23 requieren lo contrario. Es decir, cuando se emplea la MTJ 23 en la célula 24 de un bit de MRAM, según se ilustra en la Figura 2, se requiere más corriente de escritura (I) para conmutar la MTJ 23 de un estado P a uno AP que de un estado AP a uno P. Esto se muestra con el gráfico 30 de la Figura 3, que ilustra las características magnéticas inherentes de la MTJ 23 en función de la corriente de escritura (I_C). Según se muestra en la misma, la cantidad de corriente de escritura (I) requerida para conmutar la MTJ 23 de un estado P a uno AP ($I_{C\text{ P-AP}}$) es mucho mayor que la cantidad de corriente de escritura (I) requerida para conmutar la MTJ 23 de un estado AP a uno P ($I_{C\text{ AP-P}}$). Esto presenta un conflicto de diseño. Por una parte, las características magnéticas inherentes de la MTJ 23 requieren más corriente de escritura (I) para conmutar la MTJ 23 de un estado P a uno AP que de un estado AP a uno P. Sin embargo, cuando se emplea la MTJ 23 en la célula 24 de un bit de MRAM, la circuitería puede suministrar más corriente de escritura (I) para conmutar la MTJ 23 de un estado AP a uno P que de un estado P a uno AP.

En resumen, como consecuencia de este conflicto de diseño, las características inherentes de la corriente de escritura de la MTJ 23 no están alineadas con la capacidad de suministro de corriente de escritura de la MTJ 23 cuando se emplea en la célula 24 de un bit de MRAM. Cuando se emplea en la célula 24 de un bit de MRAM, se requiere más corriente de escritura para conmutar la MTJ 23 del estado P a uno AP. Sin embargo, la célula 24 de un bit de MRAM puede proporcionar más corriente de escritura para conmutar la MTJ 23 de un estado AP a uno P. Así, existe la necesidad de proporcionar un diseño de MTJ que resuelva este conflicto de diseño. Como consecuencia, puede realizarse una conmutación más eficiente de estados de memoria en circuitos y/o aplicaciones que empleen MRAM.

El documento US 2004/0061986 da a conocer un cabezal magnético para película delgada que utiliza un efecto magnetorresistivo. El documento US 2009/0091863 da a conocer un elemento magnetorresistivo en el que al menos uno de unos electrodos primero y segundo contiene un óxido metálico conductor. El documento US 2008/0180859 da a conocer un elemento magnetorresistivo con unas capas de barrera túnel primera y segunda.

Sumario de la divulgación

La presente invención versa sobre una unión túnel magnética según la reivindicación 1 y un procedimiento de formación de una unión túnel magnética según la realización 13.

Las realizaciones dadas a conocer en la descripción detallada incluyen una unión túnel magnética (MTJ) y procedimiento de formación de la misma. Una MTJ puede ser empleada por una célula de un bit de memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM) para proporcionar almacenamiento magnético de datos. La célula de un bit de MRAM comprende una MTJ y un transistor de acceso. La MTJ comprende una estructura de capa de MTJ que proporciona una barrera túnel entre un primer electrodo y un segundo electrodo. Hay dispuesta una capa libre entre el primer electrodo y la barrera túnel. Hay dispuesta una capa de referencia o inmovilizada entre el primer electrodo y la barrera túnel. Proporcionar esta estructura de célula de un bit de MRAM acopla el drenador del transistor de acceso con la capa libre de la MTJ. En consecuencia, la circuitería de escritura de la célula de un bit de MRAM puede suministrar o proporcionar más corriente de escritura para conmutar la MTJ de un estado paralelo (P) a uno antiparalelo (AP). Esto se contrapone a diseños convencionales de MTJ que disponen la capa libre encima de la capa inmovilizada con el drenador del transistor de acceso acoplado a la capa inmovilizada, en los que la célula de un bit de MRAM puede suministrar menos corriente de escritura para conmutar la MTJ de un estado P a uno AP. Al disponer la capa inmovilizada en la MTJ de modo que el drenador del transistor de acceso esté acoplado a la capa libre, según se proporciona en el presente documento, las características inherentes de la corriente de escritura de la MTJ están alineadas con la capacidad de suministro de corriente de escritura de la MTJ cuando se emplea en una célula de un bit de MRAM. En ambos casos, se requerirá más corriente de escritura para conmutar la MTJ de un estado P a uno AP que de un estado AP a uno P. En consecuencia, puede suministrarse más corriente para conmutar la MTJ de un estado P a uno AP en la célula de un bit de MRAM con respecto a los diseños convencionales de MTJ empleados en una célula de un bit de MRAM.

Incluso cuando se disponen la capa inmovilizada y la capa libre en un diseño de MTJ tal que el drenador del transistor de acceso esté acoplado a la capa libre, la magnetización de la capa inmovilizada es fija en una dirección dada. Si se pierde la magnetización de la capa inmovilizada, no puede usarse la MTJ para mantener ni almacenar información. En este sentido, puede emplearse un material antiferromagnético (AFM) para proporcionar una capa AFM. La capa AFM inmoviliza o fija la magnetización de la capa inmovilizada en una dirección dada. La capa AFM está acoplada directa o indirectamente a la capa inmovilizada, que normalmente no es una capa con textura. Así, la capa AFM puede no crecer tan bien y puede no inmovilizar firmemente los bordes de la capa inmovilizada. Esto es contrario a una estructura convencional de MTJ, en la que se deposita una capa AFM en el fondo de una capa con textura debajo de la capa inmovilizada. En este sentido, las realizaciones de MTJ dadas a conocer en el presente documento proporcionan una capa inmovilizada que tiene el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre. Esto permite una mayor área superficial para que la capa AFM se acople a la capa inmovilizada. Así, aunque los bordes de la capa inmovilizada no estén firmemente inmovilizados por la capa AFM, puede inmovilizarse bien un área interna suficiente de la capa inmovilizada por medio de la capa AFM para que

mantenga la magnetización y funcione como una capa de referencia suficiente para un tamaño dado de la capa libre en una MTJ. Si no se proporcionara una capa inmovilizada que tuviera el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre, el área superficial de la capa inmovilizada, firmemente inmovilizada por la capa AFM, podría no ser suficientemente grande para que la capa inmovilizada mantuviera la magnetización y/o proporcionase una capa de referencia suficiente para que la MTJ funcione debidamente.

Breve descripción de las Figuras

La Figura 1 es una ilustración de una unión túnel magnética (MTJ) en la técnica anterior mostrada tanto en el estado paralelo (P) como en el antiparalelo (AP);

la Figura 2 es un diagrama de una célula ejemplar de un bit de MRAM que emplea un diseño convencional de MTJ de la técnica anterior;

la Figura 3 es un gráfico ejemplar que ilustra la corriente de escritura para conmutar el estado de la MTJ de la Figura 2 tanto de P a AP como de AP a P;

la Figura 4a es un diagrama de una célula ejemplar de un bit de MRAM que emplea un diseño ejemplar de MTJ que proporciona una capa inmovilizada dispuesta encima de una capa libre;

la Figura 4b es un diagrama de una célula ejemplar de un bit de MRAM que emplea un diseño ejemplar de MTJ que proporciona una capa libre dispuesta encima de una capa inmovilizada;

la Figura 5a es un diagrama de una sección transversal ejemplar de una porción de la MTJ que puede emplearse en la célula de un bit de MRAM de la Figura 4a;

la Figura 5b es un diagrama de una sección transversal ejemplar de una porción de la MTJ que puede emplearse en la célula de un bit de MRAM de la Figura 4b;

la Figura 6a es un diagrama de una sección transversal ejemplar de una porción de una MTJ que tiene una capa inmovilizada dispuesta encima y que tiene una longitud mayor que la longitud de una capa libre, y que puede emplearse en la célula de un bit de MRAM de la Figura 4a;

la Figura 6b es un diagrama de una sección transversal ejemplar de una porción de una MTJ que tiene una capa inmovilizada dispuesta debajo y que tiene una longitud mayor que la longitud de una capa libre, y que puede emplearse en la célula de un bit de MRAM de la Figura 4b;

la Figura 7 es un diagrama de una sección transversal ejemplar de una porción de una MTJ con estructura de doble espín que tiene una capa inmovilizada dispuesta encima y que tiene una longitud mayor que la longitud de una capa libre, y que puede emplearse en la célula de un bit de MRAM de la Figura 4a o la Figura 4b; y

la Figura 8 es un diagrama de otra sección transversal ejemplar de una porción de una MTJ con estructura de doble espín dispuesta encima y que tiene una longitud mayor que la longitud de una capa libre, y que puede emplearse en la célula de un bit de MRAM de la Figura 4a o la Figura 4b.

Descripción detallada

Con referencia ahora a las Figuras de los dibujos, se describen varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación. En el presente documento se usa la palabra “ejemplar” con el sentido de “servir de ejemplo, caso o ilustración”. No debe interpretarse necesariamente que ninguna realización descrita en el presente documento como “ejemplar” sea preferible o ventajosa con respecto a otras realizaciones.

Las realizaciones dadas a conocer en la descripción detallada incluyen una unión túnel magnética (MTJ) y procedimiento de formación de la misma. Una MTJ puede ser empleada en una célula de un bit de memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM) para proporcionar almacenamiento magnético de datos. La célula de un bit de MRAM comprende una MTJ y un transistor de acceso. La MTJ comprende una estructura de capa de MTJ que proporciona una barrera túnel entre un primer electrodo y un segundo electrodo. Hay dispuesta una capa libre entre el segundo electrodo y la barrera túnel. Hay dispuesta una capa de referencia o inmovilizada entre el primer electrodo y la barrera túnel. Proporcionar esta estructura de célula de un bit de MRAM acopla el drenador del transistor de acceso con la capa libre de la MTJ. En consecuencia, la circuitería de escritura de la célula de un bit de MRAM puede suministrar o proporcionar más corriente de escritura para conmutar la MTJ de un estado paralelo (P) a uno antiparalelo (AP). Esto se contrapone a diseños convencionales de MTJ que disponen la capa libre encima de la capa inmovilizada con el drenador del transistor de acceso acoplado a la capa inmovilizada, en los que la célula de un bit de MRAM puede suministrar menos corriente de escritura para conmutar la MTJ de un estado P a uno AP. Al disponer la capa inmovilizada en la MTJ de modo que el drenador del transistor de acceso esté acoplado a la capa libre, según se proporciona en el presente documento, las características inherentes de la corriente de escritura de la MTJ están alineadas con la capacidad de suministro de corriente de escritura de la MTJ cuando se emplea en una célula de un bit de MRAM. En ambos casos, se requerirá más corriente de escritura para conmutar la MTJ de un estado P a uno AP que de un estado AP a uno P. En consecuencia, puede suministrarse más corriente para conmutar la MTJ de un estado P a uno AP en la célula de un bit de MRAM con respecto a los diseños convencionales de MTJ empleados en una célula de un bit de MRAM.

En este sentido, la Figura 4a ilustra una célula ejemplar 40 de un bit de MRAM que contiene una MTJ ejemplar 42. Para almacenar datos en la MTJ 42, la orientación de la MTJ 42 es tal que el drenador de un transistor de acceso esté acoplado a la capa libre 44 de la MTJ 42, en vez de a la capa inmovilizada 46. La MTJ 42 de la Figura 4a está

configurada para proporcionar la capa inmovilizada 46 dispuesta encima de la capa ferromagnética libre 44. Esto es contrario a un diseño convencional de MTJ en el que la capa libre está dispuesta encima de la capa inmovilizada, tal como en la MTJ 23 ilustrada en la Figura 2. Esta orientación permutada aborda el conflicto de diseño, al que se hizo referencia anteriormente, entre las características de la corriente de escritura de una MTJ y la capacidad de suministro de corriente de escritura de una célula de un bit de MRAM que emplee la MTJ. Una persona con un dominio normal de la técnica entenderá que la capa inmovilizada 46 también puede estar dispuesta debajo de la capa ferromagnética libre 44. La Figura 4b muestra una realización ejemplar de ese tipo.

La Figura 4b ilustra una célula ejemplar 49 de un bit de MRAM que contiene la MTJ ejemplar 43. La MTJ 43 de la Figura 4b está configurada para proporcionar la capa ferromagnética libre 44 dispuesta encima de la capa inmovilizada 46. La capa inmovilizada 46 está acoplada al primer electrodo 48. La capa libre 44 está acoplada al segundo electrodo 50. Una línea de bit (V_{BL}) está acoplada al primer electrodo 48. El drenador (D) de un transistor 54 de acceso está acoplado al segundo electrodo 50. Esta orientación permutada de la capa libre 44 con respecto al drenador del transistor 54 de acceso aborda el conflicto de diseño, al que se hizo referencia anteriormente, entre las características de la corriente de escritura de una MTJ y la capacidad de suministro de corriente de escritura de una célula de un bit de MRAM que emplee la MTJ. Se hará referencia a la Figura 4a con fines de exposición, pero una persona con un dominio normal de la técnica entenderá que puede usarse la célula ejemplar 49 de un bit de MRAM.

En la Figura 4a, disponer la capa libre 44 debajo de la capa inmovilizada 46 en esta disposición permite que el drenador de un transistor de acceso se acople a la capa libre 44 de la MTJ 42, en vez de a una capa inmovilizada, como en la célula 24 de un bit de MRAM ilustrada en la Figura 2. En consecuencia, puede proporcionarse más corriente de escritura para conmutar la MTJ 42 de un estado P a uno AP que de un estado AP a uno P. así, cuando se emplea la MTJ 42 en la célula 40 de un bit de MRAM, las características inherentes de la corriente de escritura de la MTJ 42 son compatibles o están alineadas con la capacidad de suministro de corriente de escritura de la MTJ 42 cuando se la emplea en la célula 40 de un bit de MRAM. Esta compatibilidad o alineamiento significa que las características inherentes de la corriente de escritura de la MTJ 42 requieren más corriente para conmutar la MTJ 42 de un estado P a uno AP que de un estado AP a uno P, mientras que la capacidad de suministro de corriente de escritura de la MTJ 42 cuando se la emplea en la célula 40 de un bit de MRAM también puede proporcionar más corriente para conmutar la MTJ 42 de un estado P a uno AP que de un estado AP a uno P.

Según se ilustra en la célula ejemplar 40 de un bit de MRAM de la Figura 4a, la capa inmovilizada 46 está acoplada al primer electrodo 48. La capa libre 44 está acoplada al segundo electrodo 50. Una línea de bit (V_{BL}) está acoplada al primer electrodo 48. El drenador (D) de un transistor 54 de acceso está acoplado al segundo electrodo 50. Se muestra al transistor 44 de acceso como un transistor NMOS; sin embargo, puede emplearse cualquier tipo de transistor, según se desee. Una línea de escritura (V_{WL}) está acoplada a la puerta (G) del transistor 54 de acceso. La fuente (S) del transistor 54 de acceso está acoplada a una fuente de tensión (V_S). La línea de bit (V_{BL}) está acoplada al primer electrodo 48 de la MTJ 42. Cuando se leen los datos almacenados en la MTJ 42, se activa la línea de escritura (V_{WL}) para activar el transistor 54 de para permitir que fluya corriente por la MTJ 42 entre los electrodos primero y segundo 48, 50. Una orientación P entre las capas libre e inmovilizada 44, 46 lleva asociada una baja resistencia, medida por la tensión aplicada en la línea de bit (V_{BL}) dividida por la corriente medida. Una orientación AP entre las capas libre e inmovilizada 44, 46 lleva asociada una resistencia mayor.

Cuando se escriben datos a la MTJ 42, se determina en primer lugar la orientación magnética existente de la capa libre 44 y la capa inmovilizada 46. Si hace falta cambiar la orientación magnética para almacenar nuevos datos en la MTJ 42, se activa la puerta (G) del transistor 54 de acceso aplicando una tensión en la línea de escritura (V_{WL}). Se genera una corriente de escritura entre el drenador (D) y la fuente (S). Si la orientación magnética de la MTJ 42 ha de ser cambiada de un estado P a uno AP, se produce una corriente (I_{P-AP}) que fluye desde el primer electrodo 48 al segundo electrodo 50 para inducir un par de transferencia de espín (STT) en la capa libre 44 para cambiar la orientación magnética de la capa libre 44 a AP con respecto a la capa inmovilizada 46. Si la orientación magnética de la MTJ 42 ha de ser cambiada de un estado de un estado AP a uno P, se produce una corriente (I_{AP-P}) que fluye desde el segundo electrodo 50 al primer electrodo 48 para inducir un STT en la capa libre 44 para cambiar la orientación magnética de la capa libre 44 a P con respecto a la capa inmovilizada 46.

La Figura 5a ilustra una sección transversal ejemplar de la MTJ 42 empleada en la célula 40 de un bit de MRAM de la Figura 4a. Cada una de las capas de la MTJ 42 tiene una longitud aproximadamente igual mostrada como " L_1 ", que puede estar entre 1,0 nanómetro (nm) y 1,0 micrómetro (μm), como ejemplo. En la misma, la capa inmovilizada 60 está dispuesta encima de la capa libre 44 para cambiar la dirección de flujo de la corriente de conmutación en la célula 40 de un bit de MRAM de la Figura 4a. Puede proporcionarse la capa inmovilizada 60 como parte de una estructura 58 de capa inmovilizada antiferromagnética sintética (SAF). Esto se expone ulteriormente más abajo. La MTJ 42 se forma depositando una pila de capas sobre el segundo electrodo 50. Las capas de la MTJ 42 pueden formarse mediante pulverización catódica o deposición por haz de iones. En esta realización, en primer lugar se coloca o se deposita la capa libre 44 encima del segundo electrodo 50. La capa libre 44 tiene un momento magnético que es o P o bien AP al momento magnético de la capa inmovilizada 60 o 58. El momento magnético de la capa libre 44 puede cambiar en respuesta a campos magnéticos externos, y precisamente la orientación relativa de los momentos magnéticos entre las capas libre e inmovilizada 44, 60 o 58 determina la corriente de tunelización y, por lo tanto, la resistencia de la barrera túnel 52. La capa libre 44 puede formarse de un grosor adecuado, que

puede estar entre aproximadamente 1 nm y 1 μ m, como ejemplo. La capa libre 44 puede formarse de cualquier material ferromagnético adecuado deseado. Ejemplos incluyen cobalto(Co)-hierro(Fe)-boro(B) (CoFeB), CoFe y níquel(Ni)-hierro (NiFe). La capa libre 44 también puede comprender capas ferromagnéticas de material compuesto.

A continuación, se coloca o se deposita un material dieléctrico delgado sobre la capa libre 44 para formar la barrera túnel 52, seguida por la capa inmovilizada 60 o 58. La barrera túnel puede formarse de un grosor adecuado, que puede estar entre aproximadamente 0,1 - 2 nm (1 y 20 Angstroms), como ejemplo. La barrera túnel 52 puede formarse de cualquier material dieléctrico adecuado deseado. Ejemplos incluyen óxido de magnesio (MgO), óxidos de aluminio (AlO_x) y óxidos de titanio (TiO_x). Puede proporcionarse la capa inmovilizada 60 como parte de una estructura 58 de capa inmovilizada antiferromagnética sintética (SAF) que comprende dos capas ferromagnéticas 60, 62 separadas por una capa 64 de acoplamiento. La capa 64 de acoplamiento puede formarse de un material base que sea no magnético o sustancialmente no magnético para formar una capa separadora no magnética, un ejemplo del cual incluye el rutenio (Ru). Las capas ferromagnéticas 60, 62 pueden comprender aleaciones que incluyan hierro. La capa inmovilizada 60 también puede comprender una única capa ferromagnética inmovilizada. La capa inmovilizada 60 puede formarse de cualquier material ferromagnético adecuado y puede ser de cualquier grosor adecuado, que puede estar entre aproximadamente 0,1-10 nm (1 y 100 Angstroms), como ejemplo.

Una capa 66 de material antiferromagnético (AFM) está acoplada directa o indirectamente a la capa inmovilizada 60 en una dirección fija. La capa AFM 66 puede ser colocada o depositada encima de la capa inmovilizada 60 para mantener o "inmovilizar" el momento magnético de la capa inmovilizada 60 en una dirección fija. La capa AFM 66 inmoviliza la magnetización de la estructura 58 de la capa inmovilizada SAF. La capa inmovilizada 60 o 58 es inmovilizada en una dirección dada mediante acoplamiento de intercambio con la capa AFM 66 adyacente magnetizada en la dirección dada. La capa AFM 66 puede formarse de un grosor adecuado, que puede estar entre aproximadamente 1-1000 nm (10 y 10000 Angstroms), como ejemplo. La capa AFM 66 puede formarse de cualquier material antiferromagnético adecuado deseado. Ejemplos incluyen platino-manganeso (PtMn) e iridio-manganeso (IrMn).

La Figura 5b ilustra una sección transversal ejemplar de la MTJ 43 empleada en la célula 49 de un bit de MRAM de la Figura 4b. Cada una de las capas de la MTJ 43 tiene una longitud aproximadamente igual mostrada como "L₁", que puede estar entre 1,0 nanómetro (nm) y 1,0 micrómetro (μ m), como ejemplo. En la misma, la capa inmovilizada 60 está dispuesta debajo de la capa libre 44 para cambiar la dirección de flujo de la corriente de conmutación en la célula 49 de un bit de MRAM de la Figura 4b. La MTJ 43 se forma depositando una pila de capas sobre el primer electrodo 48. Las capas de la MTJ 43 pueden formarse mediante pulverización catódica o deposición por haz de iones.

En la Figura 5b, una capa 66 de material antiferromagnético (AFM) está acoplada al primer electrodo 48 al colocarse o depositarse encima del primer electrodo 48 para mantener o "inmovilizar" el momento magnético de la capa inmovilizada 60 en una dirección fija. El acoplamiento puede ser directo o indirecto. La capa AFM 66 puede formarse de un grosor adecuado, que puede estar entre aproximadamente 1-1000 nm (10 y 10000 Angstroms), como ejemplo. La capa AFM 66 puede formarse de cualquier material antiferromagnético adecuado deseado. Ejemplos incluyen platino-manganeso (PtMn) e iridio-manganeso (IrMn). La capa inmovilizada 60 puede colocarse o depositarse encima del AFM 66 como parte de una estructura 58 de capa inmovilizada antiferromagnética sintética (SAF). La capa AFM 66 inmoviliza la magnetización de la estructura 58 de la capa inmovilizada SAF. A continuación, se coloca o se deposita un material dieléctrico delgado sobre la capa inmovilizada 60 para formar la barrera túnel 52 seguida por la capa libre 44. La barrera túnel 52 puede formarse de un grosor adecuado, que puede estar entre aproximadamente 0,1-2 nm (1 y 20 Angstroms), como ejemplo. La barrera túnel 52 puede formarse de cualquier material dieléctrico adecuado deseado. Ejemplos incluyen óxido de magnesio (MgO), óxidos de aluminio (AlO_x) y óxidos de titanio (TiO_x). Las capas ferromagnéticas 60, 62 pueden comprender aleaciones que incluyan hierro. La capa inmovilizada 60 también puede comprender una única capa ferromagnética inmovilizada. La capa inmovilizada 60 puede formarse de cualquier material ferromagnético adecuado y puede ser de cualquier grosor adecuado, que puede estar entre aproximadamente 0,1-10 nm (1 y 100 Angstroms), como ejemplo.

En esta realización, la capa libre 44 se coloca o se deposita encima de la barrera túnel 52 y debajo del segundo electrodo 50. La capa libre 44 tiene un momento magnético que es o P o bien AP al momento magnético de la capa inmovilizada 60 o 58. El momento magnético de la capa libre 44 puede cambiar en respuesta a campos magnéticos externos, y precisamente la orientación relativa de los momentos magnéticos entre las capas libre e inmovilizada 44, 60 o 58 determina la corriente de tunelización y, por lo tanto, la resistencia de la barrera túnel 52. La capa libre 44 puede formarse de un grosor adecuado, que puede estar entre aproximadamente 1 nm y 1 μ m, como ejemplo. La capa libre 44 puede formarse de cualquier material ferromagnético adecuado deseado. Ejemplos incluyen cobalto(Co)-hierro(Fe)-boro(B) (CoFeB), CoFe y níquel(Ni)-hierro (NiFe). La capa libre 44 también puede comprender capas ferromagnéticas de material compuesto.

Según se ha expuesto anteriormente en las realizaciones ejemplares ilustradas en las Figuras 4a y 4b, la capa libre 44 está acoplada al drenador del transistor 54 de acceso. Esto cambia la dirección de flujo de la corriente de conmutación en las células 40 y 49 de un bit de MRAM de las Figuras 4a y 4b. Por lo tanto, las células 40 y 49 de un bit de MRAM pueden suministrar más corriente de escritura para conmutar las MTJ 42 y 43, respectivamente, de un

estado P a uno AP, lo que también requiere más corriente de escritura. Sin embargo, en la Figura 4a la capa AFM 66 puede no inmovilizar bien la magnetización de la estructura 58 de la capa inmovilizada SAF, de modo que la estructura 58 de la capa inmovilizada SAF pudiera perder su magnetización, en particular en los bordes de la MTJ. Esto se debe a que la capa AFM 66 se coloca o se deposita encima de la estructura 58 de la capa inmovilizada SAF, que no es normalmente una capa con textura. Así, no se puede hacer que la capa AFM 66 crezca tan bien como puede lograrse en una estructura convencional de MTJ, en la que se deposita una capa AFM en el fondo sobre una capa germinal con textura debajo de la capa inmovilizada, debido a que la capa inmovilizada está dispuesta debajo de la capa libre. Así, en la MTJ 42 de la Figura 5a, por ejemplo, la capa AFM 66 puede no inmovilizar firmemente los bordes de la estructura 58 de la capa inmovilizada SAF. Si la estructura 58 de la capa inmovilizada SAF no está firmemente inmovilizada, ello puede dar como resultado la pérdida del margen de operación o incluso la pérdida de la magnetización y, en consecuencia, la corrupción de los datos almacenados en la MTJ 42.

Para abordar este problema, la Figura 6a ilustra una realización ejemplar alternativa de un diseño de una MTJ y un procedimiento de formación de la misma. Se proporciona una MTJ 70 como parte de un chip semiconductor. Para fijar o inmovilizar la magnetización de una capa inmovilizada 72 en una dirección fija, se emplea un material antiferromagnético (AFM) para proporcionar una capa AFM 78 similar a la MTJ 42 de la Figura 5a. Sin embargo, la MTJ 70 proporciona una capa inmovilizada 72 que tiene el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre 76. En esta realización, como ejemplo, la capa inmovilizada 72 tiene una longitud de capa inmovilizada mayor que la longitud de la capa libre 76, de modo que el área superficial de una sección transversal de la capa inmovilizada 72 es mayor que el área superficial de una sección transversal de la capa libre 76. Al proporcionar la capa inmovilizada 72 que tiene el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre 76, esto permite una mayor área superficial para que se coloque, se deposite o crezca la capa AFM 78 encima de la capa inmovilizada 72. Así, aunque los bordes de la capa inmovilizada 72 no estén firmemente inmovilizados por la capa AFM 78, puede inmovilizarse bien un área interna suficiente de la capa inmovilizada 72 por medio de la capa AFM 78 para que mantenga la magnetización y/o la función de forma suficiente como capa de referencia para un tamaño dado de la capa libre 76 en una MTJ 70. Si la capa inmovilizada 72 no tuviera el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre 76, el área superficial de la capa inmovilizada 72, firmemente inmovilizada por la capa AFM 78, podría no ser suficientemente grande para mantener la magnetización o para proporcionar una capa de referencia suficiente para la MTJ 70.

Que un área superficial de la capa inmovilizada sea mayor que un área superficial de la capa libre no está limitado a ninguna geometría ni a un diseño físico particulares. Por ejemplo, las dimensiones de longitud y/o anchura de una capa inmovilizada pueden ser mayores que las dimensiones de longitud y/o anchura de una capa libre para proporcionar una capa inmovilizada que tenga una mayor área superficial que la capa libre. Como otro ejemplo, si las estructuras de las secciones transversales de la capa inmovilizada y/o la capa libre son circulares o elípticas, estas dimensiones pueden incluir el diámetro o el radio, la circunferencia o ambos. Las elipses tienen dos dimensiones de radio, y cualquiera de ellas o ambas pueden ser mayores en una capa inmovilizada que en una capa libre. Si las estructuras de las secciones transversales de la capa inmovilizada y/o la capa libre son polígonos, las dimensiones pueden incluir la longitud de los lados, el ángulo entre lados, la altura y/o la anchura o cualquier combinación de los mismos. Además, si las estructuras de las secciones transversales de la capa inmovilizada y/o la capa libre son diferentes, las dimensiones pueden ser proporcionadas de cualquier manera, con la condición de que el área superficial de la capa inmovilizada sea mayor que el área superficial de la capa libre. Un ejemplo de ello sería si la sección transversal de la capa inmovilizada fuese elíptica y la sección transversal de la capa libre fuese un polígono, o viceversa. Las dimensiones correspondientes podrían incluir diámetro a longitud, radio a longitud, diámetro a anchura y radio a anchura, como ejemplos.

Según se ilustra en la MTJ 70 de la Figura 6a, las secciones transversales de la capa inmovilizada 72 y la capa libre 76 son rectangulares. Se proporciona la capa inmovilizada 72, cuya primera longitud (en lo sucesivo, "longitud de la capa inmovilizada") se muestra como " L_2 ". Se proporciona la capa libre 76, cuya segunda longitud (en lo sucesivo, "longitud de la capa libre") se muestra como " L_3 ". La longitud de la capa inmovilizada L_2 es mayor que la longitud de la capa libre L_3 . Esto permite que el área superficial de la capa inmovilizada 72 sea mayor que el área superficial de la capa libre 76 en esta realización. La longitud de la capa inmovilizada puede ser de cualquier longitud deseada. Por ejemplo, la longitud de la capa inmovilizada puede ser al menos un diez por ciento (10%) mayor que la longitud de la capa libre. Una realización ejemplar contempla que la longitud de la capa inmovilizada sea entre aproximadamente un ciento diez por ciento (110%) y un trescientos por ciento (300%) mayor que la longitud de la capa libre.

Pueden proporcionarse variaciones. Por ejemplo, en la MTJ 70 de la Figura 6a, las longitudes y/o las anchuras de un segundo electrodo 82 y/o una barrera túnel 74 pueden colocarse o depositarse en la MTJ 70 con las mismas o sustancialmente las mismas longitud y/o anchura que la capa libre, o pueden colocarse o depositarse en la MTJ 70 con longitudes y/o anchuras diferentes. También como ejemplo, la longitud de un primer electrodo 83 colocado encima de la capa AFM 78 puede ser de longitud y/o anchura iguales, mayores o menores que la longitud y/o la anchura de la capa AFM 78, la capa inmovilizada 72 o la capa libre 76, con la condición de que la capa inmovilizada 72 tenga el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre 76. Por ejemplo, la anchura de la capa inmovilizada 72 (en lo sucesivo, "anchura de la capa inmovilizada"), mostrada como " W_2 " en la Figura 6a, puede ser mayor que la anchura de la capa libre 76 (en lo sucesivo, "anchura de la capa libre"), mostrada

como “W₃” en la Figura 6a. Como ejemplo, la anchura de la capa inmovilizada W₂ puede ser de 120 nm, y la anchura de la capa libre W₃ puede ser de 100 nm. Alternativamente, la anchura de la capa inmovilizada y la anchura de la capa libre pueden ser iguales o sustancialmente iguales. La anchura de la capa inmovilizada también puede ser menor que la de la capa libre, aunque la mayoría de diseños proporcionaría una capa inmovilizada que tuviera una anchura de la capa inmovilizada que sea igual o sustancialmente igual que la anchura de la capa libre, o bien una anchura de la capa inmovilizada mayor que la anchura de la capa libre debido a limitaciones de las técnicas de colocación o deposición.

Una persona experta en la técnica entenderá que la inmovilización de la capa inmovilizada SAF 58 en la Figura 4b también puede ser mejorada mediante procedimientos similares expuestos más arriba. La Figura 6b ilustra una realización de estructura 79 de MTJ en la que la capa inmovilizada 72 tiene un área superficial mayor que el área superficial de la capa libre 76. Al proporcionar la capa inmovilizada 72 que tiene el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre 76, ello permite una inmovilización mejorada de la capa SAF inmovilizada 72 por las razones expuestas más arriba. Que el área superficial de la capa inmovilizada sea mayor que el área superficial de la capa libre no está limitado a ninguna geometría ni a un diseño físico particulares.

Las Figuras 7 y 8 ilustran realizaciones alternativas de estructuras de MTJ que también pueden emplearse, incluyendo en la célula 40 de un bit de MRAM de la Figura 4a y la célula 49 de un bit de MRAM de la Figura 4b. Estas estructuras de MTJ emplean estructuras de doble espín en las que se emplean dos capas inmovilizadas. Las estructuras de MTJ de doble espín proporcionan una capa libre cuya conmutación es afectada por dos pares de espín procedentes de dos capas inmovilizadas. Los ejemplos anteriores de MTJ proporcionados más arriba eran estructuras de espín simple en las que se emplea una sola capa inmovilizada. Normalmente, las estructuras de MTJ de doble espín permiten la conmutación de la magnetización de una capa libre con menos corriente de escritura de la normalmente requerida de las estructuras de MTJ de espín simple. En cada una de las estructuras de MTJ de doble espín ilustradas en las Figuras 7 y 8, cada una contiene al menos una capa inmovilizada que tiene el área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre para proporcionar un área superficial para una capa AFM para inmovilizar firmemente la capa inmovilizada. Todas las posibilidades proporcionadas para la MTJ 70 de espín simple de las Figuras 6a y 6b y descritas más arriba también son posibles para las estructuras de MTJ de doble espín de las Figuras 7 y 8. Sin embargo, para los fines de esta exposición, se usarán las configuraciones de las Figuras 4a y 6a como configuraciones ejemplares para las realizaciones descritas en las Figuras 7 y 8. Una persona con un dominio normal de la técnica entenderá que las Figuras 4b y 6b también pueden ser usadas como configuraciones ejemplares para las realizaciones descritas en las Figuras 7 y 8.

Volviendo a la Figura 7, se ilustra una primera MTJ 84 de doble espín. Una capa libre 86 y una barrera túnel 88 están rodeadas por capas inmovilizadas superior e inferior 90, 92. La capa inmovilizada inferior 92 se coloca o se deposita sobre una capa AFM 94, PtMn como ejemplo. La capa AFM 94 se coloca o se deposita encima de un segundo electrodo 98. La capa libre 86 se coloca o se deposita sobre una capa separadora no magnética 99, Ru como ejemplo, que se coloca o se deposita encima de la capa inmovilizada inferior 92. Puede proporcionarse la capa inmovilizada inferior 92 en forma de estructura de capa inmovilizada SAF. Se proporciona la capa inmovilizada superior 90 en forma de estructura de capa inmovilizada SAF. Se coloca o se deposita una capa AFM 100 encima de la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF para inmovilizar la magnetización de la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF en una dirección dada. La longitud de la capa inmovilizada de la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF (etiquetada “L₄”) es mayor que la longitud de la capa libre de la capa libre 86 (etiquetada “L₅”). Esto permite que el área superficial de la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF sea mayor que el área superficial de la capa libre 86 en esta realización. La longitud de la capa inmovilizada de la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF puede ser de cualquier dimensión deseada y puede tener un área superficial mayor que el área superficial de la capa libre 86. Una realización ejemplar permite que la longitud de la capa inmovilizada de la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF sea entre aproximadamente un ciento diez por ciento (110%) y un trescientos por ciento (300%) mayor que la longitud de la capa libre. También puede proporcionarse la capa inmovilizada superior 90 en forma de una estructura de capa inmovilizada única.

De nuevo, pueden proporcionarse variaciones. Por ejemplo, las longitudes y/o las anchuras de cualquiera del segundo electrodo 98, la capa AFM 94, la capa inmovilizada inferior 92, la capa separadora no magnética 99 y/o la barrera túnel 88 pueden colocarse o depositarse en la MTJ 84 con las mismas o sustancialmente las mismas longitud y/o anchura que la capa libre, o pueden colocarse o depositarse en la MTJ 84 con longitudes y/o anchuras diferentes. También como ejemplo, la longitud de un primer electrodo 101 colocado encima de la capa AFM 100 puede ser de longitud y/o anchura iguales, mayores o menores que la longitud y/o la anchura de la capa AFM 100, la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF o la capa libre 86. Por ejemplo, la anchura de la capa inmovilizada de la estructura 90 de capa inmovilizada SAF, mostrada como “W₄” en la Figura 7, puede ser mayor que la anchura de la capa libre 86, mostrada como “W₅” en la Figura 7. Como ejemplo, la anchura de la capa inmovilizada W₄ puede ser de 120 nm, y la anchura de la capa libre W₅ puede ser de 100 nm. Alternativamente, la anchura de la capa inmovilizada y la anchura de la capa libre pueden ser de anchura igual o sustancialmente igual. La anchura de la capa inmovilizada de la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF también puede ser menor que la de la capa libre, aunque la mayoría de diseños proporcionaría una anchura igual o sustancialmente igual de la capa inmovilizada para la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF y la capa libre 86, o la estructura 90 de la capa inmovilizada SAF con una anchura de la capa inmovilizada mayor que la anchura de la capa libre debido a limitaciones de las técnicas

de colocación o deposición. Todo lo que hace falta es una capa inmovilizada que tenga un área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre.

La Figura 8 ilustra una MTJ 102 alternativa de doble espín. En esta MTJ 102, se proporcionan barreras túnel primera y segunda 104, 106. Una capa libre 108 está rodeada inmediatamente por las barreras túnel primera y segunda 104, 106. Las barreras túnel primera y segunda 104, 106 están rodeadas inmediatamente por las capas inmovilizadas superior e inferior 110, 112, respectivamente. La capa inmovilizada inferior 112 se coloca o se deposita sobre una capa AFM 114, de forma similar al diseño de MTJ de la Figura 7. La capa AFM 114 se coloca o se deposita encima de un segundo electrodo 118. Pueden proporcionarse las capas inmovilizadas superior e inferior 110, 112 en forma de una estructura de la capa inmovilizada SAF o bien de una estructura de capa inmovilizada única. Se coloca o se deposita una capa AFM 120 encima de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF para inmovilizar la magnetización de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF en una dirección dada. La longitud de la capa inmovilizada de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF (etiquetada "L₆") es mayor en longitud que la longitud de la capa libre 108 (etiquetada "L₇"). Esto permite que el área superficial de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF sea mayor que el área superficial de la capa libre 108 en esta realización. La longitud de la capa inmovilizada de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF puede ser de cualquier longitud deseada y puede ser mayor que la longitud de la capa libre sin límite. Sin embargo, una realización ejemplar permite que la longitud de la capa inmovilizada de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF sea entre aproximadamente un ciento diez por ciento (110%) y un trescientos por ciento (300%) mayor que la longitud de la capa libre.

De nuevo, pueden proporcionarse variaciones. Por ejemplo, las longitudes y/o las anchuras de cualquiera del segundo electrodo 118, la capa AFM 114, la capa inmovilizada inferior 112 y las barreras túnel primera y segunda 104, 106 pueden colocarse o depositarse en la MTJ 104 con las mismas o sustancialmente las mismas longitud y/o anchura que la capa libre, o pueden colocarse o depositarse en la MTJ 102 con longitudes y/o anchuras diferentes. También como ejemplo, la longitud de un primer electrodo 121 colocado encima de la capa AFM 120 puede ser de longitud y/o anchura iguales, mayores o menores que la longitud y/o la anchura de la capa AFM 120, la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF o la capa libre 108. Además, la anchura de la capa inmovilizada de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF, mostrada como "W₆" en la Figura 8, puede ser mayor que la anchura de la capa libre 108, mostrada como "W₇" en la Figura 8. Como ejemplo, la anchura W₆ puede ser de 120 nm, y la anchura W₇ puede ser de 100 nm. Alternativamente, sus anchuras pueden ser iguales o sustancialmente iguales. La anchura de la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF también puede ser menor que la de la capa libre 108, aunque la mayoría de diseños proporcionaría la misma anchura entre la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF y la capa libre 108, o bien que la estructura 110 de la capa inmovilizada SAF tenga una anchura mayor que la anchura de la capa libre 108 debido a limitaciones de las técnicas de deposición. Todo lo que hace falta es una capa inmovilizada que tenga un área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre.

Pueden realizarse diversas modificaciones a las anteriores estructuras de MTJ. Puede proporcionarse la estructura de MTJ en cualquier orientación o eje, incluyendo la vertical (según se ilustra), la horizontal y la inclinada. Además, puede proporcionarse la sección transversal de las capas de la MTJ de cualquier forma deseada, incluyendo la rectangular, otras poligonales o la elíptica. Las capas de la MTJ, incluyendo la capa inmovilizada y la capa libre, pueden ser de formas o estructuras diferentes que tengan una o varias dimensiones iguales o diferentes. Dependiendo de la composición de las diversas capas y los relieves usados, puede variar el orden en el que se colocan o se depositan ciertas capas. Para estructuras de MTJ que tengan dimensiones de longitud y/o anchura, las dimensiones de longitud y/o anchura de las capas proporcionadas en la estructura de la MTJ pueden ser de cualesquiera longitudes y/o anchuras deseadas y en cualquier proporción de longitudes y/o anchuras con respecto a otras capas, con la condición de que la capa inmovilizada tenga un área superficial de la capa inmovilizada mayor que el área superficial de la capa libre. También se reconocerá que el orden de las capas y los materiales que forman esas capas en las realizaciones anteriores son meramente ejemplares. Además, aunque en la realización ilustrada se representa generalmente a las estructuras de apoyo redondas o con esquinas redondeadas, en realizaciones alternativas las estructuras de apoyo pueden tener formas diferentes. Además, en algunas realizaciones, pueden colocarse o depositarse y procesarse otras capas (no mostradas) para formar porciones de un dispositivo de MTJ o para formar otras estructuras sobre el sustrato. En otras realizaciones estas capas pueden formarse usando materiales y procedimientos alternativos de deposición, modelado y decapado, ser colocadas o depositadas en un orden diferente o estar compuestas de materiales diferentes, como sabría un experto en la técnica.

Además, puede proporcionarse la MTJ en cualquier dispositivo electrónico para almacenar datos. Puede proporcionarse el dispositivo de MTJ en una célula de un bit de MRAM y/o un circuito de la célula de un bit de MRAM para almacenar datos, en los que tales datos puedan ser almacenados, leídos y/o escritos en la MTJ. La MTJ según realizaciones dadas a conocer en el presente documento puede estar incluida o integrada en un chip semiconductor y/o en cualquier otro dispositivo, incluyendo un dispositivo electrónico. Ejemplos de tales dispositivos incluyen, sin limitación, un decodificador, una unidad de entretenimiento, un dispositivo de navegación, un dispositivo de comunicaciones, una agenda electrónica (PDA), una unidad de datos de ubicación fija, una unidad de datos de ubicación móvil, un teléfono móvil, y un teléfono celular, un ordenador, un ordenador portátil, un ordenador de sobremesa, un monitor, un monitor de ordenador, un televisor, un sintonizador, una radio, una radio por satélite, un

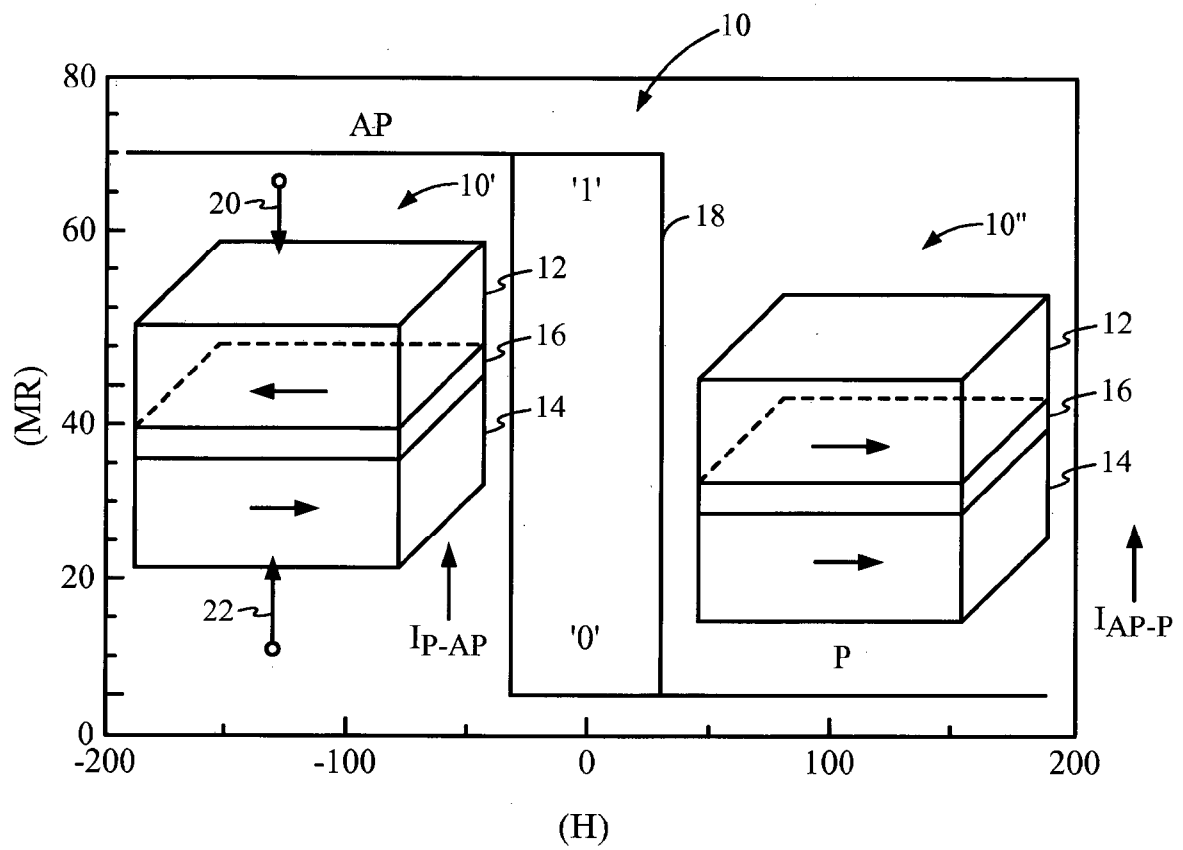
reproductor musical, un reproductor musical digital, un reproductor musical portátil, un reproductor de vídeo, un reproductor de vídeo digital, un reproductor de disco de vídeo digital (DVD) y un reproductor de vídeo digital portátil.

- 5 También se hace notar que las etapas operativas descritas en cualquiera de las realizaciones ejemplares del presente documento están descritas para proporcionar ejemplos y explicación. Las operaciones descritas pueden llevarse a cabo en numerosas secuencias distintas de las secuencias ilustradas. Además, las operaciones descritas en una sola etapa operativa pueden realizarse en realidad en varias etapas diferentes. Además, pueden combinarse una o más etapas operativas expuestas en las realizaciones ejemplares. Ha de entenderse que las etapas operativas ilustradas en los diagramas de flujo pueden estar sujetas a numerosas modificaciones diferentes, como será inmediatamente evidente para alguien con un conocimiento normal de la técnica. Las personas con un
- 10 conocimiento normal de la técnica también entenderían que la información y las señales pueden ser representadas usando cualquiera de varias tecnologías y técnicas diferentes. Por ejemplo, datos, instrucciones, órdenes, información, señales, bits, símbolos y segmentos a los que se pueda hacer referencia en toda la descripción anterior pueden ser representados por tensiones, corrientes, ondas electromagnéticas, campos o partículas magnéticos, campos o partículas ópticos o cualquier combinación de los mismos.
- 15 Se proporciona la anterior descripción de la divulgación para permitir que cualquier persona experta en la técnica realice o use la divulgación. Diversas modificaciones a la divulgación serán inmediatamente evidentes a los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden ser aplicados a otras variaciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Así, no se pretende que la divulgación esté limitada a los ejemplos y los diseños descritos en el presente documento, sino que ha de otorgársele el alcance más amplio
- 20 coherente con los principios y las características novedosas dados a conocer en las reivindicaciones adjuntas.

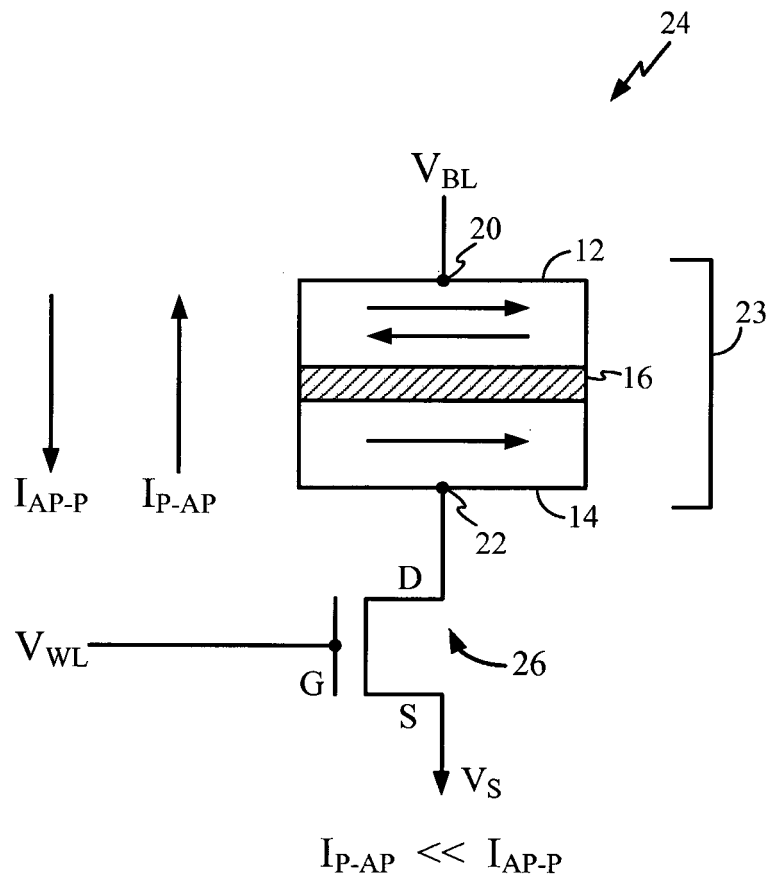
REIVINDICACIONES

1. Una unión túnel magnética, MTJ, (70) en una memoria magnética de acceso aleatorio, MRAM, que comprende:
un primer electrodo (83) y un segundo electrodo (82);
una barrera túnel (74) entre el primer electrodo (83) y el segundo electrodo (82);
5 una capa libre (76) entre el segundo electrodo (82) y la barrera túnel (74); y
una capa inmovilizada (72) entre el primer electrodo (83) y la barrera túnel (74);
en la que la capa inmovilizada (72) se extiende más allá de la capa libre (76) en todas las direcciones
paralelas a la capa libre (76) y **caracterizada porque** el área superficial de la capa inmovilizada es al
menos un diez por ciento mayor que el área superficial de la capa libre (76).
- 10 2. El dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende una capa de material antiferromagnético, AFM,
con una longitud de la capa AFM entre el primer electrodo y la capa inmovilizada, siendo el área superficial de
la capa AFM igual o mayor que el área superficial de la capa inmovilizada.
3. El dispositivo de la reivindicación 1 en el que la capa inmovilizada comprende una estructura de capa
inmovilizada antiferromagnética sintética, SAF, comprendiendo la estructura de la capa inmovilizada SAF al
15 menos dos capas ferromagnéticas separadas por una capa de acoplamiento.
4. El dispositivo de la reivindicación 1 en el que al menos una de la capa inmovilizada y la capa libre está formada
de un material ferromagnético.
5. El dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende una segunda capa inmovilizada entre el segundo
electrodo y la capa libre.
- 20 6. El dispositivo de la reivindicación 5 que, además, comprende una capa separadora no magnética o una capa
separadora sustancialmente no magnética entre la capa libre y la segunda capa inmovilizada.
7. El dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende una segunda barrera túnel entre la capa libre y el
segundo electrodo.
8. El dispositivo de la reivindicación 7 que, además, comprende una segunda capa inmovilizada entre la segunda
25 barrera túnel y el segundo electrodo.
9. El dispositivo de la reivindicación 1 integrado en al menos un chip semiconductor.
10. El dispositivo de la reivindicación 1 que, además, comprende un dispositivo seleccionado del grupo que
consiste en un decodificador, una unidad de entretenimiento, un dispositivo de navegación, un dispositivo de
comunicaciones, una agenda electrónica PDA, una unidad de datos de ubicación fija, una unidad de datos de
30 ubicación móvil, un teléfono móvil, y un teléfono celular, un ordenador, un ordenador portátil, un ordenador de
sobremesa, un monitor, un monitor de ordenador, un televisor, un sintonizador, una radio, una radio por
satélite, un reproductor musical, un reproductor musical digital, un reproductor musical portátil, un reproductor
de vídeo, un reproductor de vídeo digital, un reproductor de disco de vídeo digital DVD y un reproductor de
vídeo digital portátil, en el que está integrada la MTJ.
- 35 11. El dispositivo de la reivindicación 1 en el que el área superficial de la capa inmovilizada comprende un área
superficial de un lado de la capa inmovilizada próximo a la barrera túnel y el área superficial de la capa libre
comprende un área superficial de un lado de la capa libre próximo a la barrera túnel.
12. El dispositivo de cualquier reivindicación precedente que comprende un transistor de acceso que tiene una
puerta, una fuente y un drenador, en el que una línea de escritura está acoplada a la puerta, el segundo
40 electrodo está acoplado al drenador y una línea de bit está acoplada al primer electrodo.
13. Un procedimiento de formación de una unión túnel magnética, MTJ, (70) en una memoria magnética de acceso
aleatorio, MRAM, que comprende:
proporcionar un primer electrodo (83) y un segundo electrodo (82);
situar una barrera túnel (74) entre el primer electrodo (83) y el segundo electrodo (82);
45 situar una capa libre (76) entre el segundo electrodo (82) y la barrera túnel (74);
situar una capa inmovilizada (72) entre el primer electrodo (83) y la barrera túnel (74);
en el que la capa inmovilizada (72) se extiende más allá de la capa libre (76) en todas las direcciones
paralelas a la capa libre (76) y tiene el área superficial de la capa inmovilizada es al menos un diez por
ciento mayor que el área superficial de la capa libre (76).

50



(TÉCNICA ANTERIOR)
FIG. 1



(TÉCNICA ANTERIOR)
FIG. 2

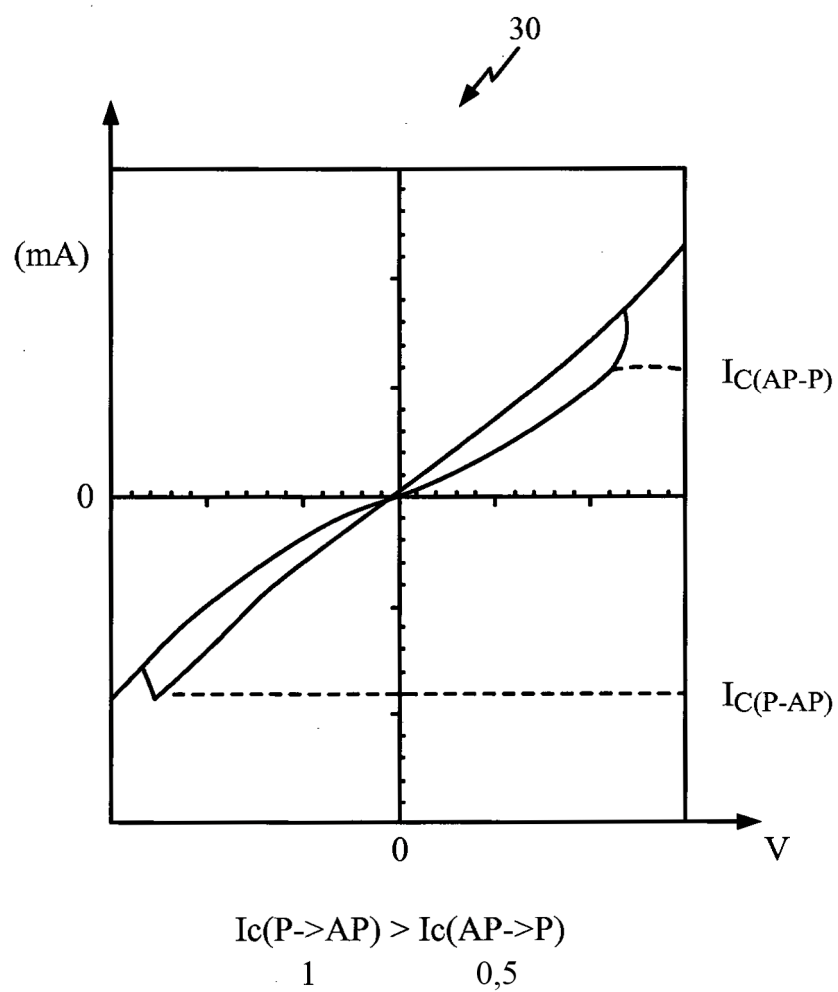
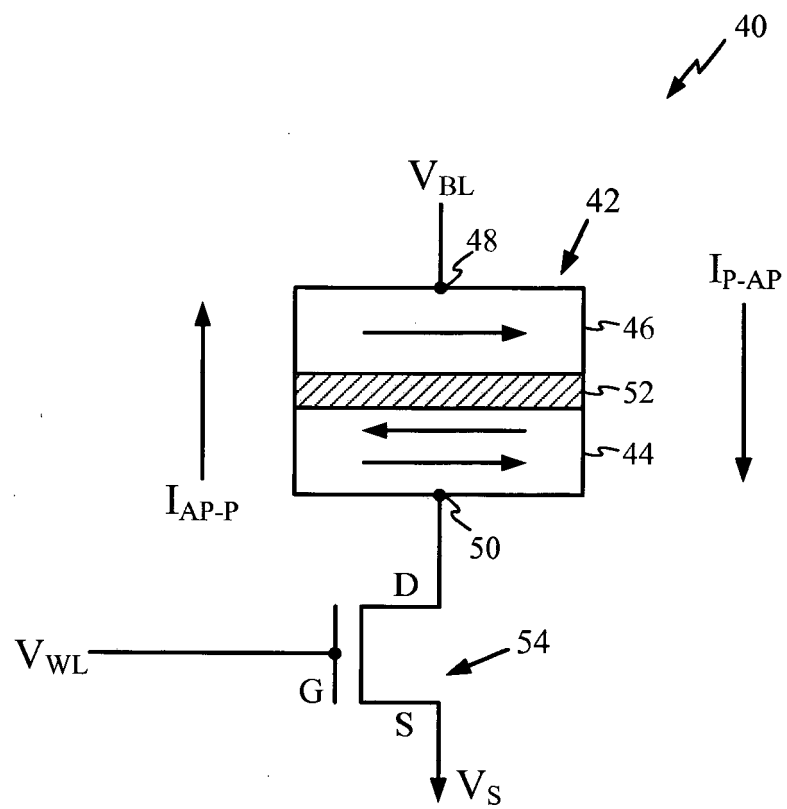
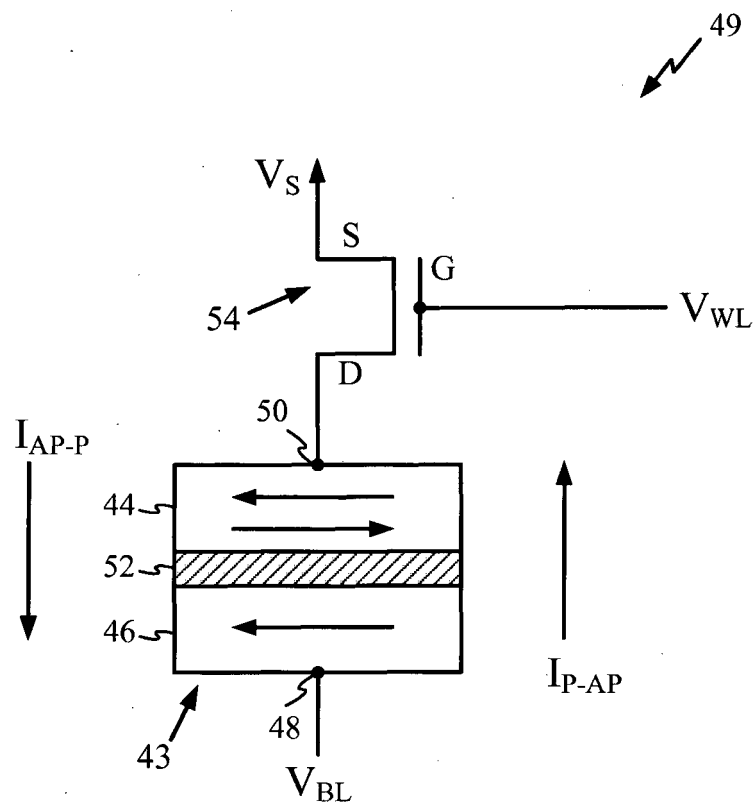


FIG. 3



$$I_{P-AP} \gg I_{AP-P}$$

FIG. 4a



$$I_{P-AP} \gg I_{AP-P}$$

FIG. 4b

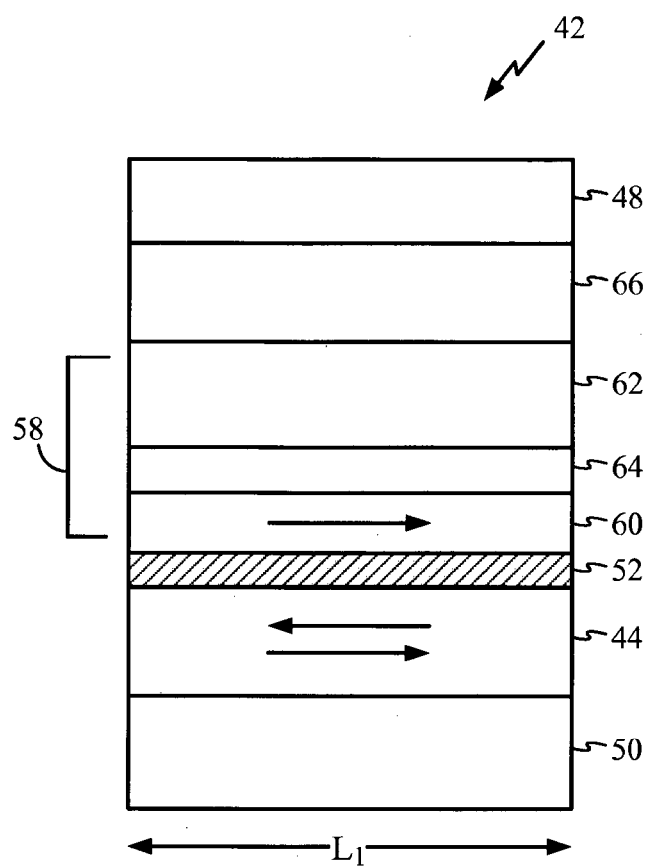


FIG. 5a

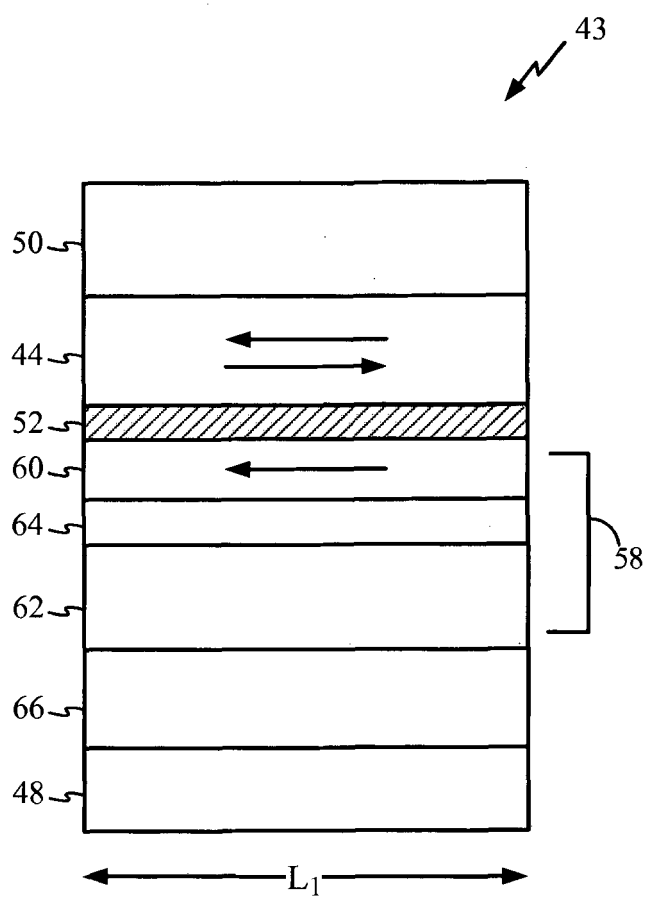


FIG. 5b

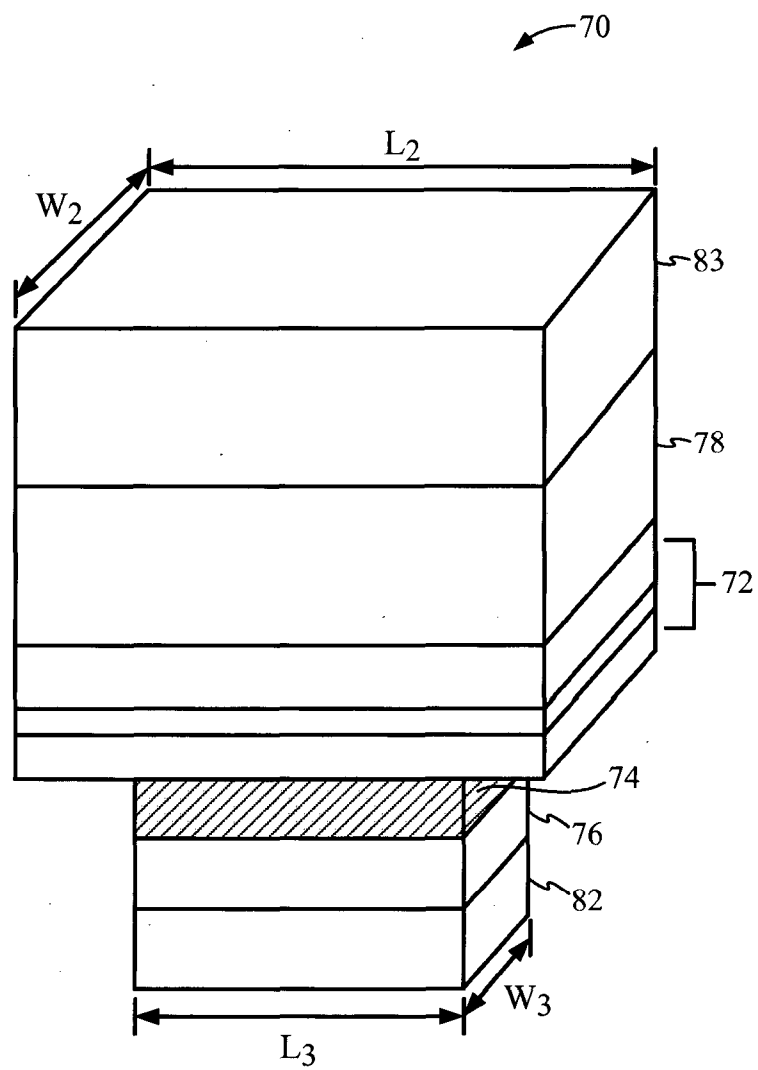


FIG. 6a

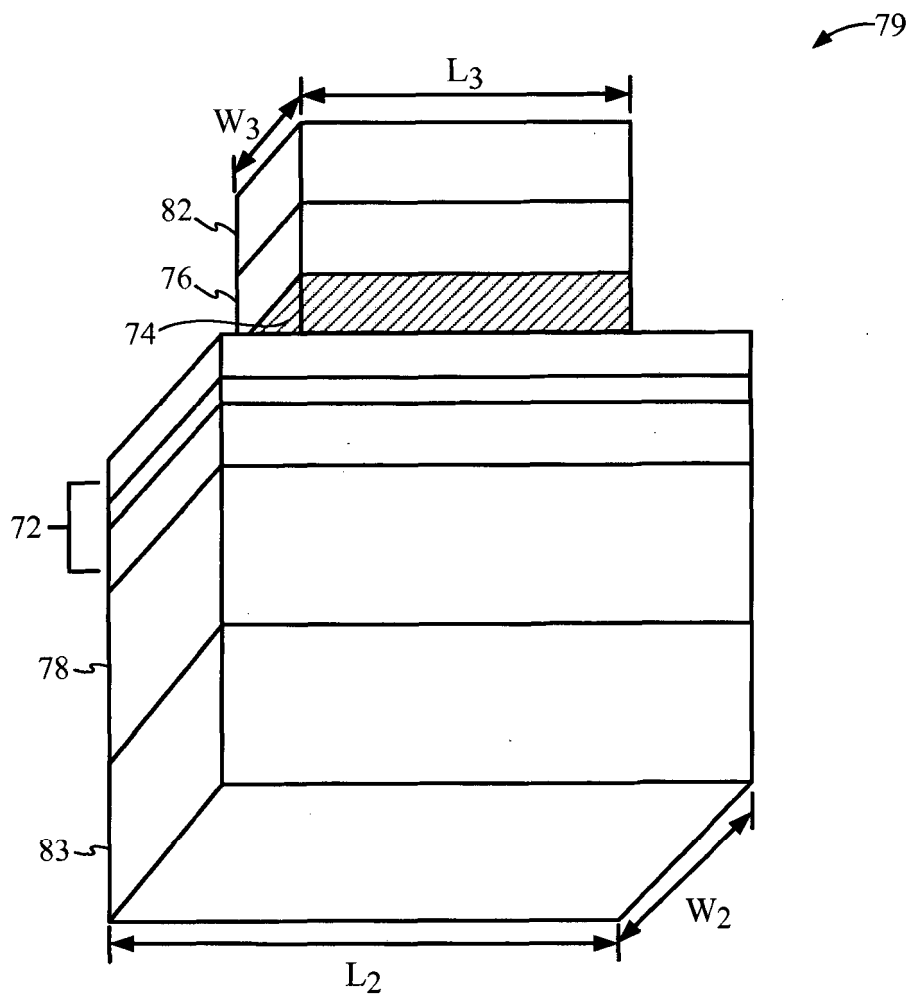


FIG. 6b

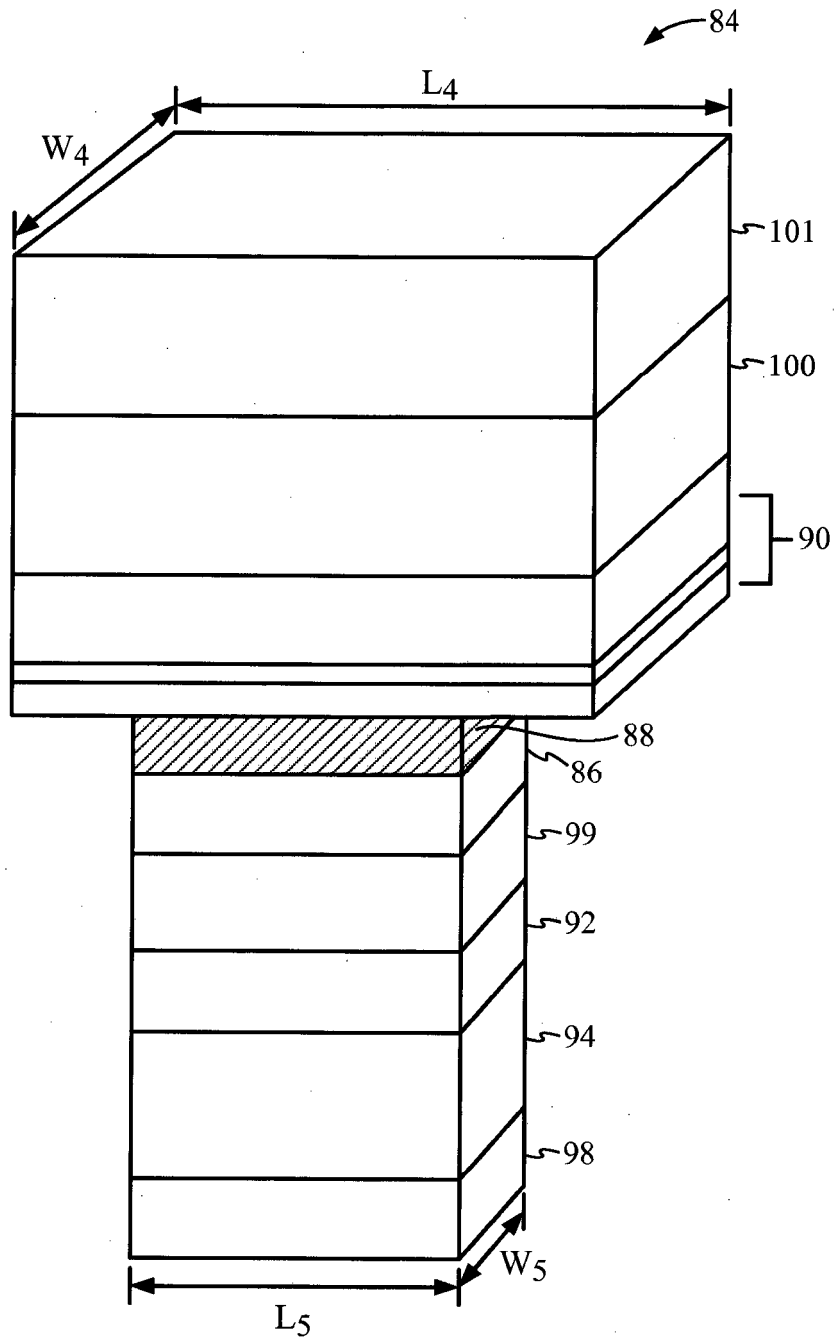


FIG. 7

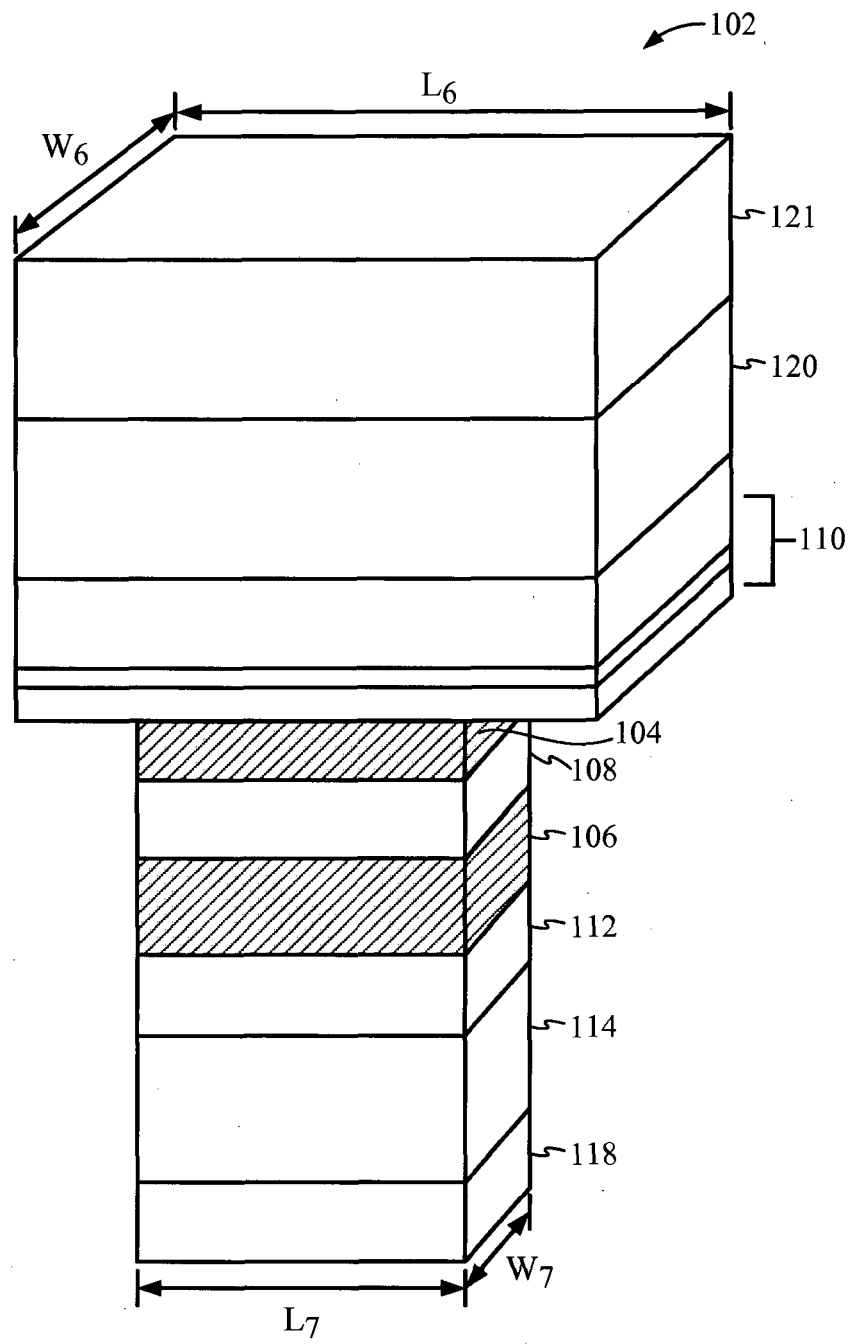


FIG. 8