

(19):



(11) No de publicación:

AR 108176 A1

(41) Fecha de publicación:

25.07.2018

(51) Int. Cl.:

**H01F 41/34, H01L 27/24,
27/11, 45/00, 21/02**

(12)

Solicitud de Patente Independiente

(22) Fecha de presentación: **05/04/2017**

(21) Número de solicitud: **P170100870**

(71) Solicitante(s):

**CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET) , GODOY CRUZ
2290, (1425) CDAD. AUT. DE BUENOS AIRES, AR
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (CNEA) ,
AV. DEL LIBERTADOR 8250, (1429) CDAD. AUT. DE
BUENOS AIRES, AR**

(72) Inventor(es):

SIRENA, MARTÍN; NEÑER, LUCAS

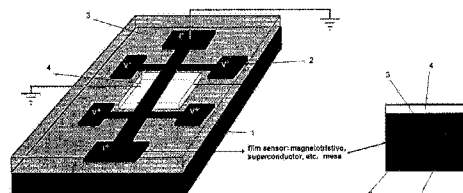
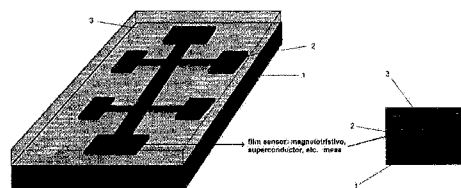
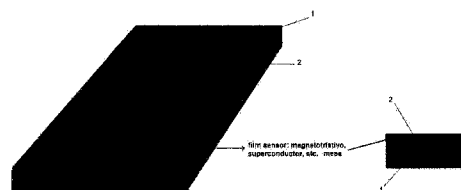
(54) Título:

**PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE SISTEMAS MULTIFERROICOS COMPUESTOS, DESARROLLO DE
NANODISPOSITIVOS MEMRESISTIVOS Y DISPOSITIVO ELECTRÓNICO OBTENIDO**

(57) Resumen:

Un proceso para el depósito de películas delgadas ferromagnéticas y ferroeléctricas, así como la utilización de técnicas de litografía para la fabricación de un sistema cuya resistencia eléctrica dependa de las mediciones y los estados anteriores aplicados al dispositivo. La fabricación de un sistema memristivo compuesto esencialmente de una capa sensora, típicamente un material ferromagnético o superconductor sensible a la polarización eléctrica y una capa ferroeléctrica crecida sobre la primera. Las técnicas de microfabricación involucradas son extremadamente simples y los espesores de las capas son lo suficientemente importantes como para eliminar los problemas que presentan los dispositivos del estado del arte, facilitando y simplificando el proceso de fabricación.

P17_0870



311900 - 1750
331900 - 1150

3200

En caso de ser Modificatoria indicar el N° de Acta

INPI Exp.: 20170100870



Trámite: 17059427 PATENTES Importe: \$3200.-

Fecha/Hora: 05/04/2017 14:10:34.0

Solicitante: PARTICULAR



REPUBLICA ARGENTINA

ADMINISTRACION NACIONAL DE PATENTES

SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCION

X

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD



Hoja

de

I. SOLICITANTE(S)

CANTIDAD DE SOLICITANTES

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

C.U.I.T. / C.U.I.L.
/ C.D.I.L.:

30-54666038-5

Consignar Nombre y Apellido o Denominación Social (de uno de ellos el resto en ANEXO)

D.N.I.

Personas Físicas:

Estado Civil:

Nupcias

Nombre y apellido del cónyuge:

DNI

Godoy Cruz 2290

Domicilio Real: Calle: N°: Piso: Dpto.

Localidad:

CABA

C. P. N°

1425

País de Residencia:

AR

Godoy Cruz 2290

1425

Domicilio Legal: Calle: N°: Localidad: Provincia:

Código Postal

Dirección de e-mail:

patentes@conicet.gov.ar

Teléfono:

4899-5400 int: 2985

II. OBJETO

Título de la
invención

PROCESO PARA LA FABRICACION DE SISTEMAS MULTIFERROICOS COMPUESTOS,
DESARROLLO DE NANODISPOSITIVOS MEMRESISTIVOS Y DISPOSITIVO
ELECTRONICO OBTENIDO

Carácter de la Patente /
Modelo de Utilidad

INDEPENDIENTE

Adicional a:

Patente N°

Solicitud N°

Divisional de la
Solicitud N°

PRIORIDAD (LEY 17.011)

PAIS

NUMERO

FECHA

DEPOSITO DE MICROORGANISMOS

FECHA DE DEPOSITO

N° DE ACCESO AL DEPOSITO

Nombre de la Institución Depositaria

Domicilio de la Institución

País

Datos del Depositante

Origen del Material Biológico y Genético

INPI

Administración Nacional de Patentes

CONTROL ADMISIÓN

INTIMACIÓN



NO

SI

Continúa en hoja anexa:

III. SOCIEDADES				
SOCIEDAD REPRESENTADA POR		Ramiro Nicolás Pedro Picasso		
DECLARA BAJO JURAMENTO QUE INVISTE EL CARÁCTER DE		APODERADO		
MANDATO SE ENCUENTRA VIGENTE Y LA SOCIEDAD SE HALLA INSCRIPTA EN				
Datos de Inscripción en R.P.C. / I.G.J.	Fecha:	Número	Nº Folio	Tomo:

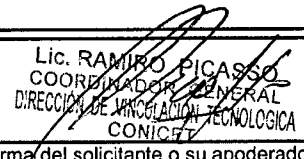
IV. MANDATO	
Poder inscripto en el I.N.P.I. bajo el número:	
EN ESTE ACTO SE AUTORIZA A: (Apellido y Nombre y Nº de DNI)	
BRECKON GILDA DNI 22598196	

☐	Para todas aquellas gestiones de mero trámite tales como practicar desgloses, retirar testimonios, certificados, títulos, copias y notificaciones en el expediente.
☒	Contestar vistas, desistir solicitud, realizar peticiones (solamente cuando el Autorizado sea Agente de la Propiedad Industrial)
SE ACOMPAÑA PODER	X
AGENTE Nº	

V. DECLARACION DE DIVULGACION PREVIA	
A los efectos de lo indicado en el Art. 5º de la Ley 24.481, manifiesta que el presente invento ha sido divulgado previamente: ☐ NO ☐ SI / NO En caso afirmativo en fecha:	

VI. OBSERVACIONES	
Se procede al pago de la tasa de examen de fondo que a tal efecto prevee el decreto 260/96, modificado por el decreto 878/06.	
La presente solicitud se efectúa en carácter de Gestor de Negocios a favor de Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) quienes se presentarán a ratificar en legal término.	

Se deja constancia que los datos vertidos en el presente formulario revisten el carácter de declaración jurada; cualquier falsedad inserta en el mismo acarreará las consecuencias legales correspondientes.	
NOTA: El pago del arancel correspondiente deberá concretarse al momento de la presentación o durante, las dos primeras horas de atención del subsiguiente día hábil. De no ocurrir el pago en dicho plazo, de pleno derecho de tendrá por no efectuada la presentación, la que no producirá efecto alguno.	

	
Firma del / los autorizado / s	Firma del solicitante o su apoderado o representante legal

USO INTERNO			
LA PRESENTACION CONSTA DE FOJAS			
CAMBIO DE DOMICILIO/CORREO ELECTRONICO/TELEFONO:			FECHA
Domicilio Real - Calle			Nº
Localidad:	C. P. Nº	País de Residencia:	
Domicilio Legal - Calle - Nº - Localidad - Provincia			Código Postal
Dirección de e-mail:	Teléfono:		
CAMBIO DE APODERADO / AUTORIZADO:			FECHA
Nuevo Apoderado o Autorizado:			
TRANSFERENCIA O CAMBIO DE RUBRO:			

INPI Exp.: 20170100870



Trámite: 17059427 PATENTES Importe: \$3200.-

Fecha/Hora: 05/04/2017 14:10:34.0

Solicitante: PARTICULAR



REPUBLICA ARGENTINA



ANEXO TITULARES

Hoja

de

Título de la
invención

PROCESO PARA LA FABRICACION DE SISTEMAS MULTIFERROICOS COMPUESTOS, DESARROLLO DE NANODISPOSITIVOS MEMRESISTIVOS Y DISPOSITIVO ELECTRONICO OBTENIDO

Carácter de la Patente /
Modelo de Utilidad

INDEPENDIENTE

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

C.U.I.T. / C.U.I.L. /
C.D.I.:

CUIT: 30-54666021-0

Consigñar Nombre y Apellido o Denominación Social

D.N.I.

Personas Físicas:

Estado Civil:

Nupcias

Nombre y apellido del cónyuge:

D.N.I.

Av del Libertador 8250

Domicilio Real- Calle;Nº; Piso y Dpto.

Localidad:

Ciudad De Buenos Aires

C. P. Nº

1429

País de Residencia:

AR

Personas Jurídicas: Datos de
Inscripción en R.P.C. / I.G.J.

Fecha:

Número

Nº Folio

Tomo:

Dirección de e-mail:

Teléfono:

011 4704-1000

Lic. RAMIRO PICASSO
COORDINADOR GENERAL
DIRECCIÓN DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
CONICET

Datos del representante legal

Firma del solicitante o su representante legal

C.U.I.T. / C.U.I.L. /
C.D.I.:

Consigñar Nombre y Apellido o Denominación Social

D.N.I.

Personas Físicas:

Estado Civil:

Nupcias

Nombre y apellido del cónyuge:

D.N.I.

Domicilio Real- Calle;Nº; Piso y Dpto.

Localidad:

C. P. Nº

País de Residencia:

Personas Jurídicas: Datos de
Inscripción en R.P.C. / I.G.J.

Fecha:

Número

Nº Folio

Tomo:

Dirección de e-mail:

Teléfono:

Datos del representante legal

Firma del solicitante o su representante legal

PROCESO PARA LA FABRICACION DE SISTEMAS MULTIFERROICOS
COMPUESTOS, DESARROLLO DE NANODISPOSITIVOS MEMRESISTIVOS Y
DISPOSITIVO ELECTRONICO OBTENIDO

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un proceso para la fabricación de sistemas
10 nanoestructurados de carácter multiferroico compuesto y su utilización para el
desarrollo de sistemas memristivos o memristores (MEMRIS).

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los MEMRIS tienen numerosas aplicaciones industriales, principalmente en
15 la industria de la informática, con su posibilidad de almacenar y leer información de
manera ultra rápida (desarrollo de memorias FRAM, por sus siglas en inglés
Ferroelectric Random Access Memories). Sin embargo, la posibilidad de mayor impacto
sería su posible utilización para la fabricación de redes neuronales de estado sólido. Los
MEMRIS con su capacidad de mantener la información sin potencia aplicada
20 (dispositivo no volátil) y autoregular su estado, constituye el equivalente artificial de
una sinapsis neuronal, presentando las mismas operaciones lógicas y capacidad de
memoria. Las sinapsis son las conexiones entre las neuronas del cerebro. Esa conexión
se hace más fuerte cuanto más veces es utilizada. Como las sinapsis, los MEMRIS
aprenden de los impulsos anteriores, impulsos que provienen de circuitos electrónicos
25 que conectan. Se demostró en Febrero del 2012, que MEMRIS pueden imitar las

sinapsis más eficientemente que la tecnología tradicional CMOS y pueden ser el componente fundamental para la elaboración de circuitos capaces de “aprender” y una nueva electrónica de arquitectura en paralelo, tipo neuro-mórfica. De manera adicional, su alta resistencia a grandes variaciones de temperatura y a vibraciones mecánicas, las hacen excelentes candidatas para su aplicación en sectores industriales de alta complejidad, como la industria aeroespacial, por ejemplo.

A los fines prácticos de interpretación el termino MEMRISTOR empleado en la presente descripción hace referencia a la contracción de las palabras MEMORIA y RESISTOR. Los MEMRIS son un elemento de circuito pasivo de dos terminales cuya resistencia depende de la corriente que haya circulado por el mismo anteriormente. Fue postulado matemáticamente por Leon Chua en 1971, como el cuarto elemento de circuito fundamental, siendo los 3 primeros las resistencias, los capacitores y los inductores [ver Chua Leon O.; MEMRISTOR The missing circuit element, IEEE Transactions on circuit theory, Vol CT-18, Pag. 507, 1971]. La implementación a nivel laboratorio de un sistema memristivo de estado sólido tardó cerca de 40 años, científicos de HP desarrollaron el primer memristor basado en el movimiento de iones de oxígeno en films de TiO_{2-x} [ver Patente “Electrically actuated switch”, Hewlett Packard Company, Appl. No.: 11/542986, Estados Unidos, (2006)]. El comportamiento de este dispositivo es extremadamente prometedor dando velocidades de acceso del orden del nanosegundo y tamaños reducido. Sin embargo, su funcionamiento está basado en la creación de un estado inestable desbalanceado de cargas iónicas en el sistema (vacancias de oxígeno), el sistema funciona por un tiempo como un “capacitor químico” hasta que su utilización repetida terminara por balancear las cargas. Hasta la fecha no han logrado un dispositivo comercialmente viable.

El desarrollo en las últimas décadas de las técnicas de litografía ha hecho posible la fabricación de nanoestructuras de manera simple y confiable dando lugar a numerosos avances en el área de la nanotecnología. Desde el 2008 han surgido a nivel laboratorio diferentes sistemas de carácter memristivos, tales como nanotubos de carbón y sistemas espintrónicos, propuestos inicialmente por científicos de Seagate Technology [ver Wang, X.; Chen, Y.; Xi, H.; Dimitrov, D., "Spintronic Memristor through Spin Torque Induced Magnetization Motion", IEEE Electron Device Letters **30** (3), 294–297, (2009)] estos sistemas están basados en la interacción del espín de los electrones y en general requieren una alta densidad de corriente y su elaboración es muy compleja.

Existen también memristores basados en materiales ferroeléctricos ultra delgados crecidos entre dos electrodos metálicos, estos dispositivos permiten variar la resistencia del sistema en dos órdenes de magnitud entre los estados ONN y OFF y están basados en el paso de los portadores de carga por efecto túnel a través de la barrera ferroeléctrica (*tunneling electro resistance* en ingles) [ver Chanthbouala, A.; et al., "A ferroelectric memristor", Nature Materials **11** (10), 860–864, (2012)]. Sin embargo el crecimiento y control de capas ultradelgadas de estos materiales resulta difícil, en particular el conseguir los pequeños espesores necesarios para el efecto túnel, sin la presencia de huecos (*pinholes*) en la barrera que terminan produciendo un cortocircuito entre los electrodos.

También se conocen las Patentes **US 2009/0317958** (Tang y otros) y **US 2011/0248381** (Tong y otros) Está basado en el movimiento de iones de oxígeno en films de $\text{TiO}_2\text{-x}$, su funcionamiento está basado en la creación de un estado inestable desbalanceado de cargas iónicas en el sistema (vacancias de oxígeno), el sistema funciona por un tiempo como un “capacitor químico” hasta que su utilización repetida terminara por balancear las cargas. La primera patente incorpora los iones en la zona

activa por medio de un acelerador / implantador, y no está limitado al oxígeno. La segunda patente simplemente presenta un proceso de fabricación optimizado donde la zona activa está compuesta por dos partes. El proceso objeto de la presente invención es totalmente diferente ya que el principio actuante es otro, se utiliza un sistema ferroeléctrico para modificar la resistencia en una zona activa.

Con relación a la Patente **US 2011/0017977** (Bratkovski y otros): Está basada en lo que se llama resistive swithching element, un elemento que cambia la resistencia cuando se le aplica una tensión, de manera similar a las descritas anteriormente, la diferencia en esta patente por lo que se puede apreciar está en la optimización del proceso de fabricación (que resulta también en un proceso más complejo) por el cual se canaliza el campo eléctrico generado por los electrodos para promover el “swithching” el cambio de estado del elemento resistivo. La zona activa está compuesta por materiales típicos de este tipo de sistemas, también conocidos como conductores iónicos: “The primary active material can be composed of an oxide, and *the second active region can be composed of a material that forms anion vacancies*. The active region 102 can be composed of oxides that contain one or more (mobile) oxygen atom (“O”) and one or more other element. In particular, the active region 102 can be composed of titania (“TiO₂”), zirconia (“ZrO₂”), or hafnia (“HfO₂”).”

A diferencia del objeto de la presente invención, en el mismo no hay necesariamente un cambio de resistencia en el elemento aislante sino que se cambia el estado de polarización eléctrica, lo que modifica la resistencia de la zona activa.

Sobre la Patente **US 2014/0097398** (Cho y otros), la misma implica una optimización del proceso de fabricación de un memristor basado en el cambio de estado resistivo de una junta. El estado de la junta se cambia aplicando una tensión mayor que la que se utiliza para leer la junta.

En el objeto de la presente invención, se aplica una tensión en el material ferroeléctrico para modificar la polarización del mismo y esto modifica la resistencia de la zona activa (que es una capa delgada en contacto con el materia ferroeléctrico. En ningún momento se aplica una tensión en la zona activa para modificar su resistencia.

5

RESUMEN DE LA INVENCION

Es entonces un objeto de la presente invención proveer un proceso para el depósito de películas delgadas ferromagnéticas y ferroeléctricas, así como la utilización de técnicas de litografía para la fabricación de un sistema cuya resistencia eléctrica dependa de las mediciones y los estados anteriores aplicados al dispositivo.

Es también un objeto de la presente invención proveer la fabricación de un sistema memristivo compuesto esencialmente de una capa sensora, típicamente un material ferromagnético o superconductor sensible a la polarización eléctrica y una capa ferroeléctrica crecida sobre la primera. Las técnicas de microfabricación involucradas son extremadamente simples y los espesores de las capas son lo suficientemente importantes como para eliminar los problemas que presentan los dispositivos mencionados anteriormente, facilitando y simplificando el proceso de fabricación.

Es por lo tanto un objeto de la presente invención proveer un proceso para la fabricación de sistemas multiferroicos compuestos, que comprende los pasos de:

- a) depositar al menos una capa inferior de un material ferromagnético sobre al menos un sustrato inerte,
- b) realizar al menos un circuito mesa mediante técnicas de litografía,
- c) depositar al menos una capa ferroeléctrica sobre dicha capa inferior ferromagnética, y
- d) aplicar al menos un electrodo sobre dicha estructura.

DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Para mayor claridad y comprensión del objeto de la presente invención, se lo ha ilustrado en varias figuras, en las que se ha representado el mismo en una de las formas preferidas de realización, todo a título de ejemplo, en donde:

Figura 1A, 1B y 1C: Esquema del proceso de fabricación del dispositivo mostrando los pasos sucesivos. (1 A) la conformación del circuito mesa formado por la capa sensor, luego de ser crecida sobre un sustrato y haberse realizado el proceso de litografía. (1 B) Depósito del material ferroeléctrico (FE) sobre el circuito mesa. (1C) Depósito y confinamiento del electrodo metálico superior.

Figuras 2A – 2E: Esquemas del funcionamiento del dispositivo. 2A Estado inicial (demostrativo) del mismo sin tensión aplicada. 2B Inicio del proceso de reordenamiento de los dominios ferroeléctricos al superar la tensión de inversión de los mismos, V_c . 2C Esquema de evolución del proceso de inversión de los dominios ferroeléctricos al incrementar la corriente en el dispositivo. 2D Esquema del proceso de reversión de los dominios ferroeléctricos para tensiones negativas, revirtiendo el proceso producido anteriormente. 2E. Esquema de la reversión en la orientación de los dominios ferroeléctricos al seguir incrementando la corriente en el sentido inverso.

Figura 3: Esquema demostrativo de la respuesta tensión-corriente del dispositivo. Zona A, la tensión de polarización es inferior a la tensión requerida para invertir la orientación de los dominios ferroeléctricos (V_c). Zona B, se incrementa la corriente y la tensión de polarización supera V_c y comienza el proceso de inversión de los dominios ferroeléctricos (FE). Zona C y D: Se reduce y se invierte la corriente en el dispositivo y la tensión de polarización, hasta alcanzar la tensión necesaria para reorientar los dominios FE ($-V_c$). Zona E: Se incrementa la corriente circulando en el

sentido inverso, incrementando la reversión de los dominios FE. Zona F: Se reduce la corriente, reduciendo la tensión de polarización.

DESCRIPCION DETALLADA DEL EJEMPLO DE REALIZACION

5 El objeto de la presente invención proporciona un método o proceso de fabricación mediante el depósito por medios físicos (como la técnica de pulverización catódica (*sputtering*) o deposición pulsada por laser (*PLD*)) o químicos de una heteroestructura formada por dos capas. Una primera capa sensora, que puede estar compuesta por cualquier material cuya resistencia (R) cambie de manera no par frente a la presencia de la polarización eléctrica del ferroeléctrico (P), es decir que $R(P) \neq R(-P)$.
10 Estos sistemas pueden ser, aunque no están limitados a materiales superconductores y los óxidos ferromagnéticos. El espesor de la capa sensor se encuentra típicamente entre los 5 nm y 10 nm, de manera de maximizar la influencia de las cargas y el campo eléctrico generado por el material ferroeléctrico. Las dimensiones del micro-canal están
15 determinadas por la necesidad de producir a lo largo de mismo la caída de tensión necesaria para manipular la polarización del material ferroeléctrico, típicamente entre 5 y 10V. Posteriormente, mediante litografía óptica y la utilización de un comido iónico o químico de la capa depositada se forman el micro canal y los conectores que permiten la medición de la resistencia de la capa depositada a cuatro puntas (circuito mesa). En una
20 segunda etapa se crece sobre el circuito una capa de un material ferroeléctrico (FE) con la la polarización eléctrica en la dirección perpendicular a la superficie de la muestra, tales como BaTiO_3 , BiFeO_3 , etc. Típicamente, el espesor de esta capa es de 30 nm a 60 nm. Finalmente se deposita una capa metálica de oro o plata que sirve como electrodo superior de la estructura y mediante litografía óptica y un proceso de comido se confina
25 el electrodo de manera de limitar su área a la zona de trabajo sobre el circuito mesa

inferior. Esto permite reducir la probabilidad de la existencia de huecos en el dispositivo reduciendo la necesidad de crecer capas extremadamente gruesas del material ferroeléctrico.

El aspecto fundamental de la invención se refiere a la fabricación de este sistema como dispositivo memristivo para su utilización en distintas aplicaciones tecnológicas. Para ello se realiza la conexión del circuito mesa a una fuente de corriente y el estado o resistencia del sensor se puede acceder por dos caminos que permiten medir la caída de tensión en el mismo. Posteriormente se conecta uno de los terminales de corriente, junto con el electrodo superior metálico, a tierra. Al circular la corriente en el micro-canal se produce una caída de tensión respecto a la tierra (electrodo superior). A medida que se incrementa la corriente la tensión de polarización (V_p) supera la tensión necesaria para invertir los dominios ferroeléctricos ($V_c = E_c / d$, donde E_c es el campo coercitivo eléctrico necesario para invertir la orientación de la polarización del material FE y d es el espesor del mismo). A medida que se incrementa la corriente, aumenta el número de dominios FE que se invierten, modificando la resistencia del sensor. Al disminuir la corriente en el canal la configuración en la capa ferroeléctrica se preserva, manteniendo el valor de resistencia en el circuito mesa a corriente nula. Al invertir la corriente en el mismo y superar nuevamente la tensión necesaria para revertir los dominios FE en la dirección opuesta, el valor de la resistencia del sensor se revierte.

La primera fase del proceso comprende fabricar un sistema básico de bicapas, con el agregado de un electrodo superior metálico como el esquematizado en la figura 1. Consta de una bicapa 2-3 que se deposita sobre un sustrato cristalino 1, formada por una capa 2, sensible a la polarización eléctrica del ferroeléctrico (FE) 3.

Para fabricar la bicapa 2-3, sobre un sustrato monocristalino (SrTiO_3 , MgO o safiro, etc.) 1 se deposita por medios físicos, como *sputtering*, deposición por pulsos

de láser o métodos químicos, una capa 2 de un óxido ferromagnético o material superconductor de alta temperatura crítica como $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ o metálico como Nb con espesores típicos entre 5 y 10 nm. Esta capa 2 compone el electrodo inferior del memristor (MEMRIS) y es la capa sensible a la polarización del material ferroeléctrico

5 3. Posteriormente se realiza mediante técnicas tradicionales de litografía la delimitación del circuito mesa con la forma detallada en la figura 1A. A continuación se deposita por métodos físicos o químicos la capa ferroeléctrica 3, típicamente de 30 a 60 nm, sobre el circuito mesa, cubriéndolo totalmente. La capa FE 3, realiza un revestimiento aislante del circuito, al mismo tiempo que provee la polarización eléctrica necesaria para
10 modificar la resistencia del circuito mesa 2. Finalmente se deposita por evaporación o métodos físicos una capa de metálica 4, que puede ser de oro o plata, con un espesor típico de 30 a 50nm. Mediante técnicas tradicionales de litografía óptica se delimita el área del capa superior 4 para conformar el electrodo superior. Esto puede realizarse mediante técnicas de liff-off y deposito del material o mediante el depósito de material y
15 la posterior remoción por comido iónico o químico.

Finalmente se realizan los contactos eléctricos en el dispositivo, conectando los terminales de la fuente de corriente y de tensión (en caso de ser necesario acceder al estado del dispositivo) como se indica en la figura 1C. Para poder acceder al circuito mesa 2 una vez recubierto por la capa FE 3, se utiliza un elemento punzante como un
20 lápiz con punta de diamante para erosionar la superficie del terminal y poder realizar el contacto eléctrico utilizando pintura de plata. De manera adicional se puede realizar un depósito de oro o plata una vez realizado la abrasión para mejorar el contacto eléctrico. De esta manera se coloca uno de los terminales I^+ de la fuente de corriente (no se indica en la figura) en el pad correspondiente al contacto eléctrico (I^+) (Figura 1C) y el otro
25 terminal en el contacto de pintura de plata conectado con el terminal correspondiente a I^-

. La corriente circula entonces a lo largo del canal del circuito mesa, produciendo una caída de tensión que puede ser medida mediante los contactos V+ y V- indicados en la figura 1C. Si se conectan el electrodo superior 4 y el pad correspondiente a I- a tierra, el dispositivo presenta un comportamiento memristivo. La corriente circulando en el micro-canal produce una caída de potencial a lo largo del mismo que al superar la tensión necesaria para invertir los dominios FE (V_c) en la capa 3 modifica la resistencia del circuito mesa (Figura 2). El estado resistivo del dispositivo es no volátil ya que guarda su configuración sin necesidad de tener una potencia aplicada (como es necesario para las memorias de alta velocidad basadas en la tecnología actual).

La respuesta Tension-Corriente (curva $V(I)$) (Figura 3) muestra el comportamiento típico memristivo del dispositivo. El mismo sufre una variación de la resistencia con la corriente aplicada y el cambio producido es no-volatil y reversible. Las curvas $V(I)$ presentan como características un comportamiento con histéresis, presentando siempre un cruce por cero.

Este tipo de dispositivos se adapta muy bien para ser fabricados en *chips* para su utilización en redes neuronales de estado sólido y desarrollo de memorias no volátiles.

El proceso tradicional de litografía se describe de manera esquemática a continuación a título complementario. El proceso consiste en recubrir la muestra, a alta velocidad (6.000 a 7.000 RPM), con una fotorresina positiva Posteriormente se hace un recocido a temperaturas cercanas a 95°C para endurecer y secar la resina. A continuación se irradia con luz ultravioleta la zona que se quiere remover de la muestra. El resto de la muestra se protege con una máscara (que tiene la forma del circuito mesa Fig 1A.). Se coloca la muestra en el revelador de la resina que disuelve la resina expuesta a la luz UV. La capa 2 queda protegida por la resina en el área del circuito

mesa. Finalmente se ataca la muestra mediante un haz de iones acelerados por un potencial eléctrico (típicamente de 500V) o mediante un ataque químico a base de ácidos. La zona de la muestra que no está protegida por la resina es removida, mientras que la zona delimitada por la misma permanece. De esta manera el patrón de la máscara es transferido a la muestra. Finalmente la resina se remueve en un baño de acetona.

5

REIVINDICACIONES

Habiendo así especialmente descrito y determinado la naturaleza de la presente invención y la forma como la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara reivindicar como de propiedad y derecho exclusivo:

5 1. Un proceso para la fabricación de sistemas multiferroicos compuestos, caracterizado porque comprende los pasos de:

 a) depositar al menos una capa inferior de un material ferromagnético sobre al menos un sustrato inerte,

 b) realizar al menos un circuito mesa mediante técnicas de litografía,

10 c) depositar al menos una capa ferroeléctrica sobre dicha capa inferior ferromagnética, y

 d) aplicar al menos un electrodo sobre dicha estructura.

 2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho
15 al menos un electrodo es de oro, plata, o lo similar.

 3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que comprende el paso de conectar uno de los terminales de corriente y el electrodo superior de manera conjunta a la masa del circuito.

20 4. Un dispositivo realizado mediante el proceso de la reivindicación 1, caracterizado porque la capa ferroeléctrica posee un espesor de entre 30 y 60nm.

 5. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque la
25 capa ferromagnética posee un espesor de entre 5 y 10nm.

6. El dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque la capa ferromagnética es una capa de un material cuya resistencia (R) es sensible a la polarización eléctrica del ferroeléctrico de manera no par. (Es decir $R(P) \neq R(-P)$).

7. El dispositivo de acuerdo a la reivindicación 6, caracterizado porque la capa sensible posee un espesor de entre 5 y 50nm.

10



Lic. RAMIRO PICASSO
COORDINADOR GENERAL
DIRECCIÓN DE VINCULACIÓN TECNOLÓGICA
CONICET

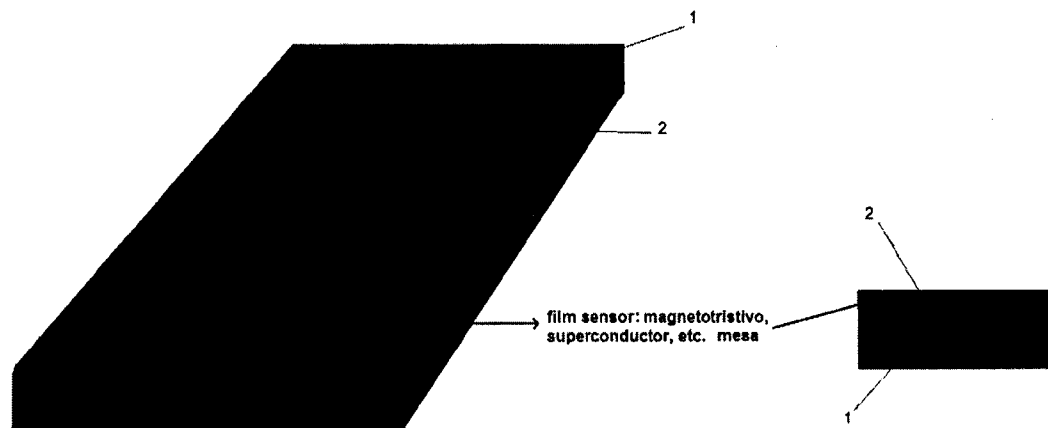


Fig. 1 A

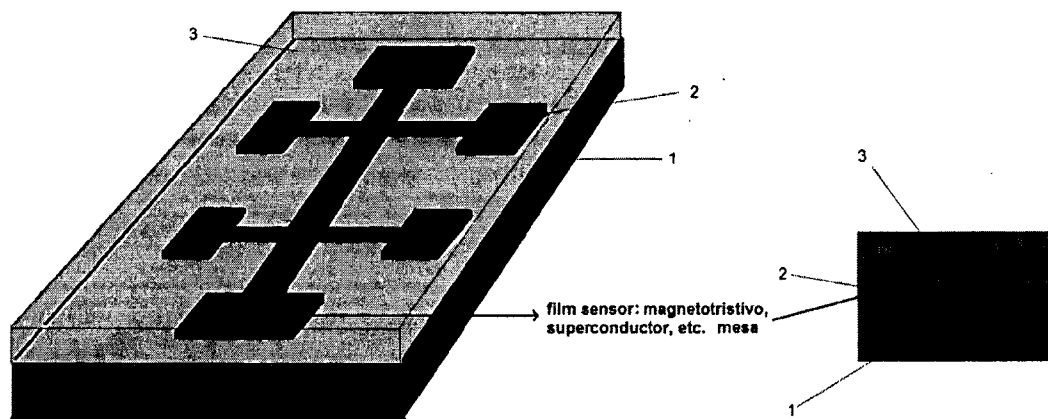


Fig. 1 B

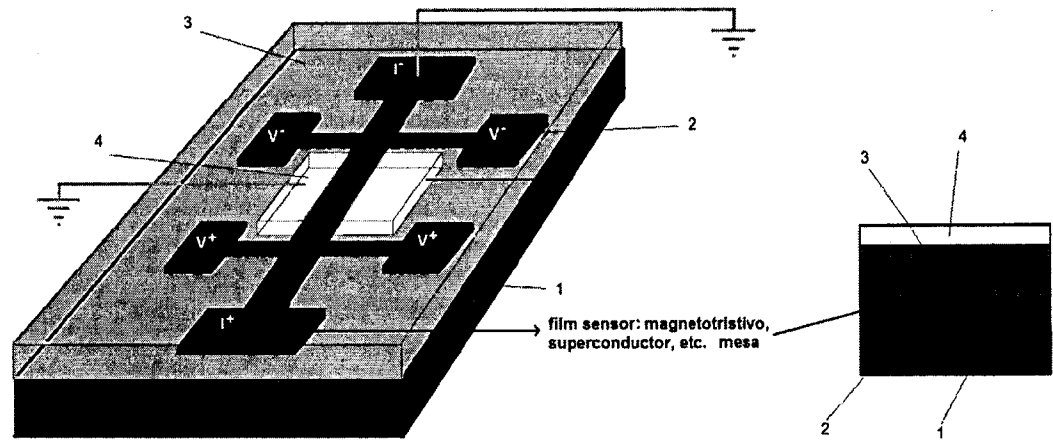


Fig. 1 C

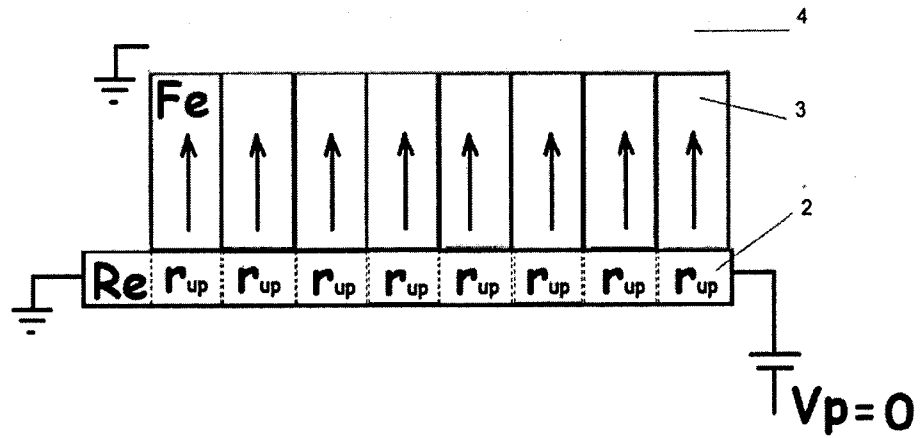


Fig. 2A

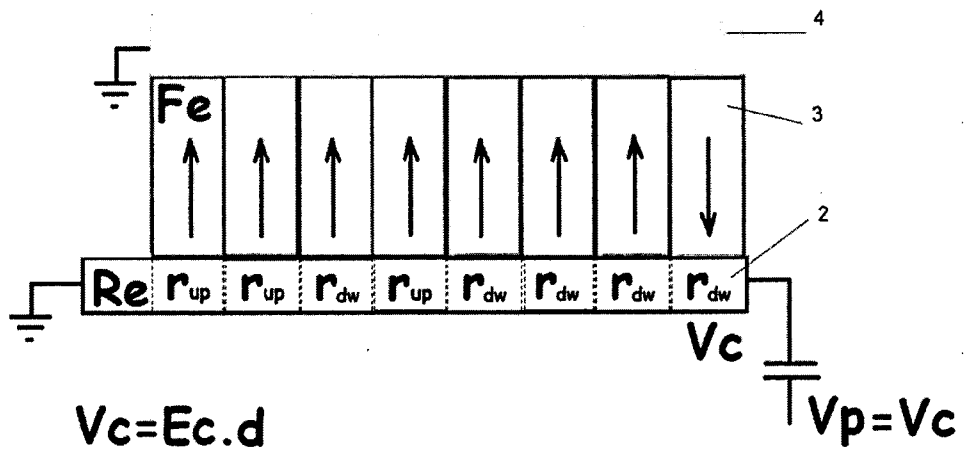


Fig. 2 B

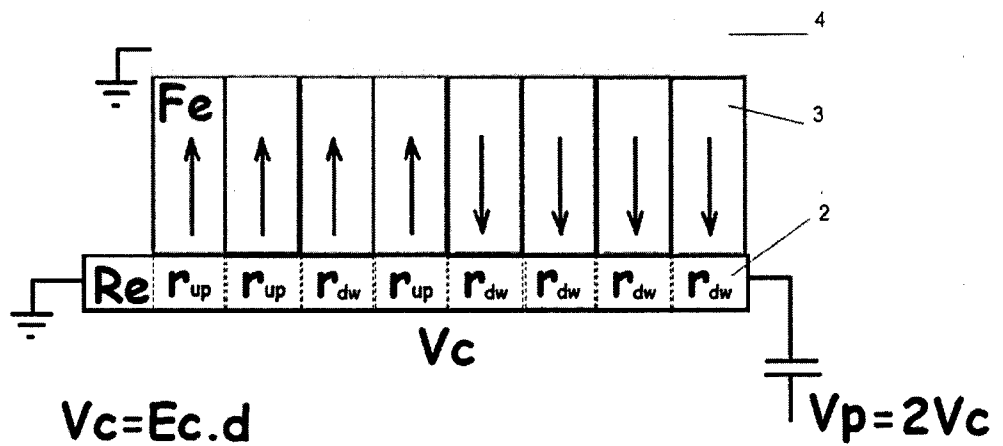


Fig. 2 C

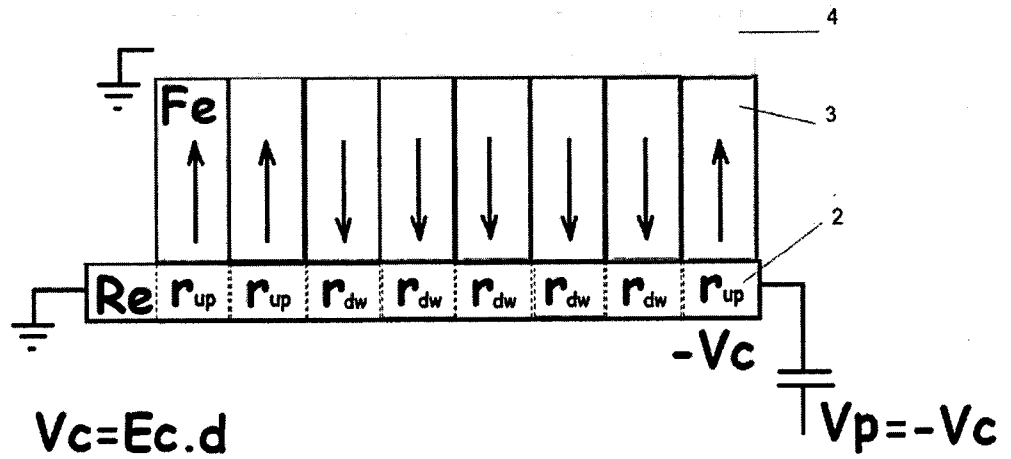


Fig. 2 D

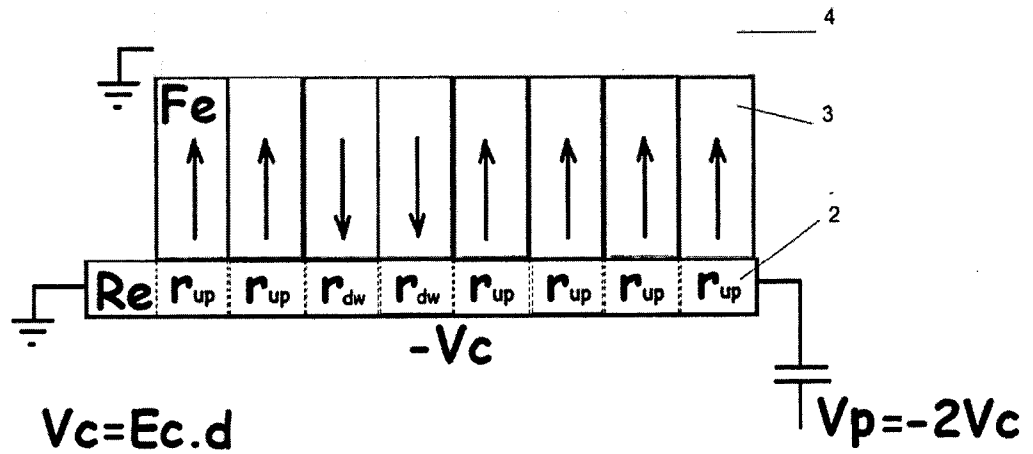


Fig. 2 E

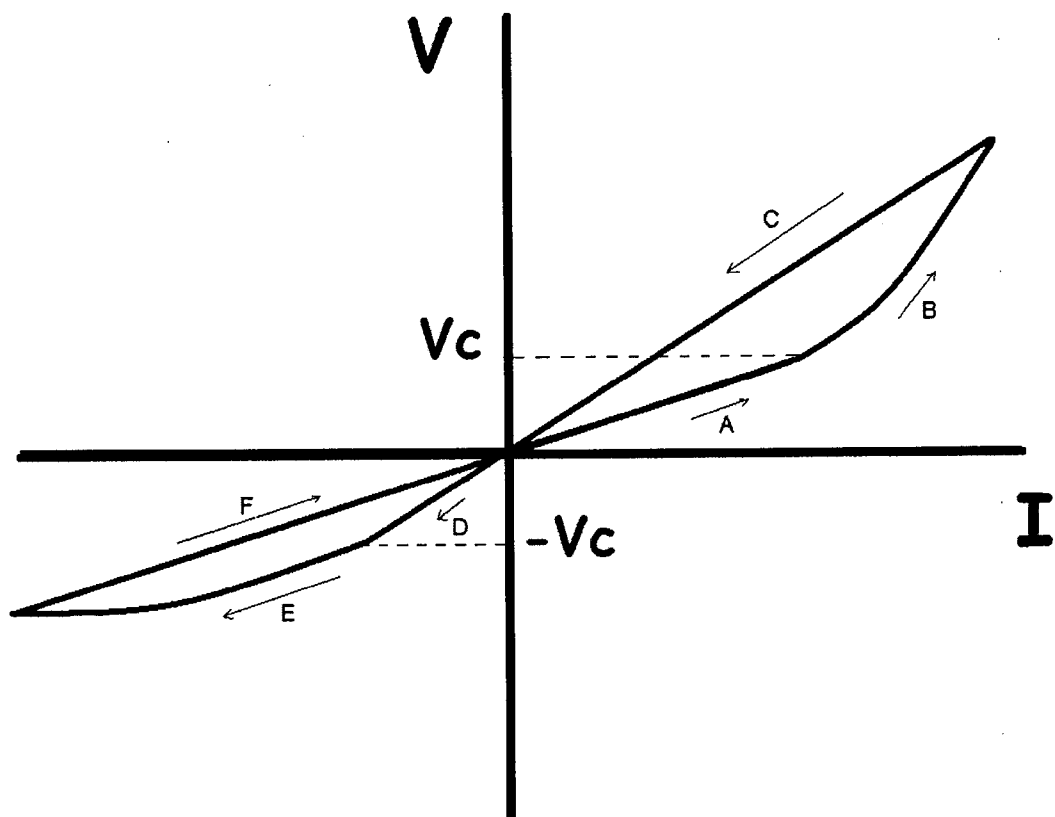


Fig. 3

RESUMEN

Un proceso para el depósito de películas delgadas ferromagnéticas y ferroeléctricas, así como la utilización de técnicas de litografía para la fabricación de un sistema cuya resistencia eléctrica dependa de las mediciones y los estados anteriores aplicados al dispositivo. La fabricación de un sistema memristivo compuesto esencialmente de una capa sensora, típicamente un material ferromagnético o superconductor sensible a la polarización eléctrica y una capa ferroeléctrica crecida sobre la primera. Las técnicas de microfabricación involucradas son extremadamente simples y los espesores de las capas son lo suficientemente importantes como para eliminar los problemas que presentan los dispositivos del estado del arte, facilitando y simplificando el proceso de fabricación.

PARA USAR EN EL EXTERIOR **INPI** Exp.: **20170100870**

Trámite: 17059427 PATENTES Importe: \$3200.-
Fecha/Hora: 05/04/2017 14:10:34.0
Solicitante: PARTICULAR



REPÚBLICA ARGENTINA

INSTITUTO NACIONAL DE PATENTES



HOJA TECNICA

(10) PUBLICACION N°: AR (12) ☒ PATENTE DE INVENCION ☐ MODELO DE UTILIDAD
(21) SOLICITUD N° (51) INT. CL:

(22) FECHA DE SOLICITUD		(71) SOLICITANTE (S):	CONICET/CNEA
(30) DATOS DE PRIORIDAD			
(41) FECHA DE PUBLICACION			
BOLETIN N°		(72) INVENTOR (ES):	Neñer, Lucas SIRENA, MARTIN
(61) ADICIONAL A:			
(62) DIVISIONAL DE:			
(74) AGENTE N°:			
(83) DEPOSITO DE MICROORGANISMOS			

(54) TITULO DE LA INVENCION

PROCESO PARA LA FABRICACION DE SISTEMAS MULTIFERROICOS COMPUESTOS, DESARROLLO DE NANODISPOSITIVOS MEMRESISTIVOS Y DISPOSITIVO ELECTRONICO OBTENIDO

(57) RESUMEN:

Un proceso para el depósito de películas delgadas ferromagnéticas y ferroeléctricas, así como la utilización de técnicas de litografía para la fabricación de un sistema cuya resistencia eléctrica dependa de las mediciones y los estados anteriores aplicados al dispositivo. La fabricación de un sistema memristivo compuesto esencialmente de una capa sensora, típicamente un material ferromagnético o superconductor sensible a la polarización eléctrica y una capa ferroeléctrica crecida sobre la primera. Las técnicas de microfabricación involucradas son extremadamente simples y los espesores de las capas son lo suficientemente importantes como para eliminar los problemas que presentan los dispositivos del estado del arte, facilitando y simplificando el proceso de fabricación.

FIGURA MAS REPRESENTATIVA N°: