

Análisis de las características Corriente-Voltaje (I-V) en Barreras Schottky de Silicio (p)-Oro

Analysis of the Current-Voltage (I-V) characteristics of Silicon (p)-Gold Schottky Barriers

ORTIZ-VÁZQUEZ, Jonathan†*, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, VÁZQUEZ-MÉNDEZ, Gerardo y ROJO-VELAZQUEZ, Gustavo Emilio

¹Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, Reforma 2007 Sur. Colonia Fundadores. Nuevo Laredo Tamaulipas, México

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección de Electrónica del Estado Sólido, CINVESTAV, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, AP: 14-740, 07000 México, Ciudad de México.

³Programa de Doctorado en Nanociencias y Nanotecnología, CINVESTAV-IPN, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, Ciudad de México, C.P. 07360, México

ID 1^{er} Autor: Jonathan, Ortiz-Vázquez / ORC ID: 0000-0003-1087-9306, Researcher ID Thomson: S-7037-2018, CVU CONACYT ID: 999613

ID 1^{er} Coautor: José Luis, Ortiz-Simón / ORC ID: 0000-0001-6548-3849, CVU CONACYT ID: 209883

ID 2^{do} Coautor: Gerardo, Vázquez-Méndez / ORC ID: 0000-0001-8041-3072, CVU CONACYT ID: 1015828

ID 3^{er} Coautor: Gustavo Emilio, Rojo-Velazquez / ORC ID: 0000-0002-7792-1436, CVU CONACYT ID: 26367

DOI: 10.35429/JTD.2019.10.3.1.5

Recibido: 10 de Marzo, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

Resumen

El ancho de banda, el rendimiento, la alta capacidad de almacenamiento su ancho de banda y el bajo costo de fabricación, son características de las memorias de acceso aleatorio (RAM). Dentro de la clasificación de las RAM se hallan las FRAM (memoria de acceso ferro-aleatorio) y las MRAM (memorias magnetorresistivas de acceso aleatorio). Esta última, ya que el almacenamiento se debe a una orientación magnética y no a una orientación eléctrica, ha causado mucho interés entre la comunidad científica. En este trabajo se analiza las características corriente-voltaje (I-V) en barreras Schottky de Silicio-Oro aplicando un campo magnético externo sobre esa estructura.

Abstract

The bandwidth, low cost, great storage capacity and performance are characteristics of the random Access Memories (RAM). Some kinds of RAM include ferro-random access memory (FRAM) and magnetoresistive random access memory (MRAM), the latter being of great interest to the scientific community since storage is achieved via magnetic orientation rather than electric orientation. In this paper, we analyze the effect of the application of an external magnetic field on the current-voltage (I-V) characteristics of Schottky barriers made of silicon-gold, to show the effects of magnetoresistance in dispositive semiconductors suited for use as memory storage.

MRAM, Barreras Schottky, Campo Magnético

MRAM, Schottky Barriers, Magnetic Field

Citación: ORTIZ-VÁZQUEZ, Jonathan, ORTIZ-SIMÓN, José Luis, VÁZQUEZ-MÉNDEZ, Gerardo y ROJO-VELAZQUEZ, Gustavo Emilio. Análisis de las características Corriente-Voltaje (I-V) en Barreras Schottky de Silicio (p)-Oro. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2019. 3-10: 1-5

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: j.o.vazquez1996@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los efectos de la magnetorresistencia se conocen desde 1850, cuando lord Kelvin mostro que la aplicación de un campo magnético a un objeto metálico incrementa la resistencia eléctrica del objeto en una dirección y la reduce en dirección de la normal. Fue gracias a los descubrimientos de la magnetorresistencia gigante (GMR), por parte de Alberto Fert y Peter Grunberg, y con los recientes avances de la nanotecnología, que se desarrolló la MRAM [1]. Por otra parte, Zhang *et al.*, reportan efectos de magnetorresistencia gigante en heterouniones Schottky Al/Ge/Al considerada como magnetorresistencia de rectificación; esta consiste en aplicar una corriente alterna a la heterounión Schottky no magnética lo cual puede generar una corriente significativa continua y un voltaje de rectificación, éste puede variar al aplicar un campo magnético externo.

Otros dispositivos que han generado gran interés en el estudio de propiedades magnéticas son los diodos resonantes túnel (RTD), por ejemplo, Likovich y colaboradores estudian películas a base de dos capas ferromagnéticas a base de GaMnAs donde una actúa como una barrera formando un pozo cuántico (QW), generando una barrera túnel, dando como resultado un dispositivo magnético con efecto túnel.

En el presente trabajo se analiza la estructura ZnO/Ti/ZnO colocando contactos de Al y Au mediante el método de magnetorresistencia de rectificación. Se muestra que lo que se ha hecho es un estudio de la espectroscopia por fotoemisión. Este trabajo busca establecer si existe la posibilidad de usar esta estructura para el desarrollo de memorias magnéticas con efecto de diodo túnel.

Metodología

Para fabricar las barreras Schottky con silicio se utilizaron fracciones rectangulares de silicio tipo-p de orientación (100). Sobre los fragmentos rectangulares de silicio se realizó la barrera Schottky con un contacto de oro; para completar el circuito se realizó un contacto óhmico de aluminio en forma circular. Estos detalles se ilustran en la Figura 1. Los metales se depositaron por evaporación térmica.

Para fabricar las estructuras con el arreglo de ZnO/Ti/ZnO las películas de ZnO se crecieron por la técnica de magnetron sputtering, las películas metálicas se depositaron por evaporación térmica y por evaporación por cañón de electrones. Para conocer las características eléctricas de las películas de ZnO se depositaron sobre ellas contactos de In/Au para realizar mediciones por el método de efecto Hall. Los crecimientos fueron realizados de la siguiente manera: en primera instancia se realizó el lavado de los substratos de vidrio con xileno y acetona grado CMOS, posteriormente se retiró los residuos de acetona con agua desionizada mediante baño ultrasónico, una vez finalizado el proceso de limpieza se prosiguió con los crecimientos correspondientes de la estructura de ZnO/Ti/ZnO.

La primera película es de 20nm de ZnO la cual nos sirve para reducir los efectos generados por el substrato utilizado, está fue depositada por RF-sputtering utilizando una potencia de 125 watts con un flujo de Ar de 10%. La segunda película de la estructura es de Ti con un espesor de 5nm y se depositó mediante un cañón de electrones de vacío "Edwards E306 system". Finalmente se depositó una película de ZnO de 100 nm por Rf-Sputtering utilizando las mismas condiciones que la primera película.

Para comprobar que la superficie de la muestra fuera homogénea se realizó análisis morfológico mediante microscopia electrónica de barrido (SEM) Así mismo, se realizó análisis composicional por composición química (EDS), para ello la muestra fue preparada con una capa superficial de Au de 20 nm de espesor, las mediciones se realizaron en el microscopio de barrido FE HRSEM Auriga 3916 mediante InLens. Por otra parte, para la medición de las propiedades eléctricas se colocaron contactos de In y Au por separado, posteriormente se realizó la medición de efecto Hall por el método Hall-van der Pauw utilizando una corriente de 1 mA y un campo magnético de -0.5 T a 0.5 T.

Para analizar el efecto de rectificación en curvas I-V se colocaron contactos de In y Au como se muestran en la figura 1, sobre la estructura de ZnO/Ti/ZnO. Las mediciones de las curvas I-V se realizaron tanto en polarización inversa como directa con voltajes en el rango de -0.5 V a 0.5 V.

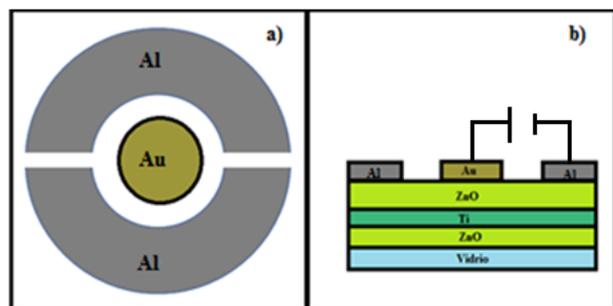


Figura 1 Esquema de contactos para mediciones de magnetorresistencia de rectificación. a) vista en plano, b) vista en sección transversal de la estructura ZnO/Ti/ZnO

Resultados

a) Características de las superficies de las muestras

Las superficies de las muestras de silicio son extraordinariamente lisas de tal manera que al analizarlas al microscopio no se observa rugosidad alguna, pueden describirse como superficies con terminación a espejo. Sobre ellas se forman las metalizaciones con la geometría mostrada por en Figura 2.

En la figura 2, se muestra la morfología de las estructura con ZnO. Se indica también la composición química de la superficie de la estructura de ZnO/Ti/ZnO. Si nota la presencia de los elementos principales, Ti, Zn y Oxígeno. En la figura 2 a) se puede observar que la muestra tiene una superficie con distribución homogénea con partículas menores a 100 nm. Por otra parte en la figura 2b, se muestra el análisis composicional donde se identificó la presencia de Zn, Ti y O con una concentración ~32, ~2 y ~66 en porcentaje atómico respectivamente.

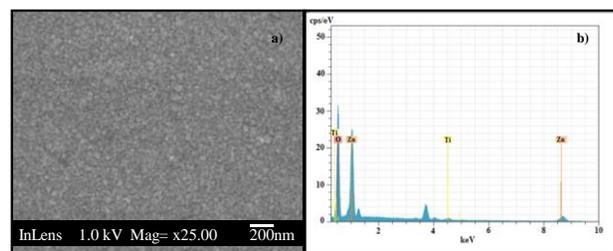


Figura 2 Micrografías de la superficie de la estructura de ZnO/Ti/ZnO obtenidas por SEM a), análisis de composición química obtenido mediante EDS b)

b) Propiedades eléctricas de las películas semiconductoras

Las propiedades eléctricas de la estructura de ZnO/Ti/ZnO (J-1) contenidos en la Tabla 1, se obtuvieron por el método de Hall-van der Pauw a temperatura ambiente (J1-300 K) y a 77 K (J1-77K). En la Tabla 1 se muestran los resultados de las propiedades eléctricas de la estructura realizada fueron comparados con los de una muestra cristalina de ZnO tipo-n. En este sentido se puede observar que la estructura es tipo-n, presentando una concentración de portadores de $\approx 10^{21} \text{cm}^{-3}$ y baja resistividad en comparación con el cristal de ZnO sin impurificar, estos efectos pueden ser atribuidos a la presencia de la capa intermedia de Ti.

Muestra	Resistividad ($\Omega \text{ cm}$)	Movilidad (cm^2/Vs)	Concentración (cm^{-3})
Cristal ZnO	3.13×10^{-2}	97.960	-2×10^{18}
J-1, 300K	4.91×10^{-3}	1.2656	-1×10^{21}
J-1, 77K	5.99×10^{-3}	9.09×10^{-2}	-7×10^{21}

Tabla 1 Propiedades eléctricas de la estructura de ZnO/Ti/ZnO por el método Hall-van der Pauw utilizando un campo magnético 0.55 T

c) Características I-V de las Barreras Metal-Semiconductor

Para facilitar la descripción del comportamiento de las Barreras Metal-Semiconductor y de los resultados experimentales obtenidos es necesario mostrar su constitución física y la representación de la energía que poseen los electrones que se desplazan en ella cuando se aplica una diferencia de potencial externa. El esquema correspondiente se ve en la Figura 3. El detalle básico es la barrera de potencial que se establece en el semiconductor señalada como Barrera Schottky; esta barrera se puede modular al aplicar un potencial externo, si el potencial es positivo la barrera aumenta y en caso contrario la barrera disminuye.

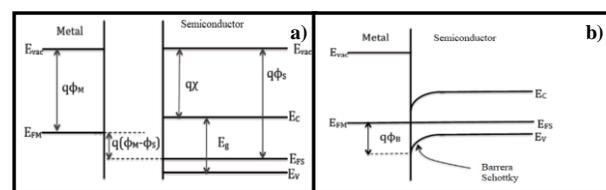


Figura 3 Diagrama de bandas de energía de la Barrera Schottky. a). - Metal y semiconductor separados, b) Metal y semiconductor en contacto mostrando la barrera de potencial efectiva

Como resultado de la polarización se establece una corriente que depende de las características físicas de la estructura. En la Figura 3 se escribe la Ley de la Barrera Schottky que contiene dos términos, el prefactor I_{sat} o corriente de saturación, y el término entre paréntesis, que describe el comportamiento de la barrera en polarización directa y en polarización inversa. En el esquema de la Figura 4-a) se ilustra el significado de la corriente de saturación y la variación esperada en la corriente con voltajes de polarización cercanos a cero volts.

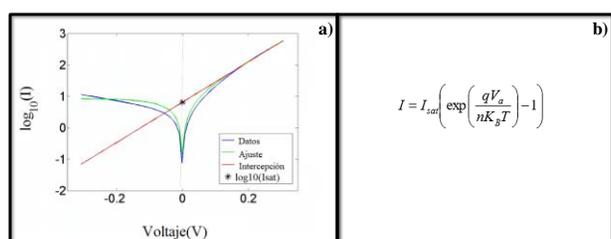


Figura 4 Característica Corriente-Voltaje de una Barrera Schottky. a)- Variación de la corriente en la Barrera para voltajes de polarización próximos a cero volts. b). - Ley de la Barrera Schottky

d) Resultados Experimentales

La característica I-V en la Barrera Schottky de Au-Silicio en ausencia de campo magnético y con un campo magnético aplicado de 0.5 Tesla se incluyen en la Figura 5.

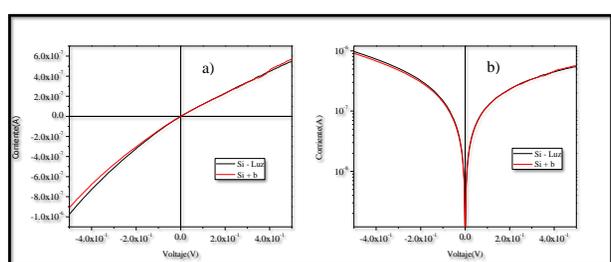


Figura 5 Curva I-V para una barrera Schottky sobre Si tipo-p a temperatura ambiente, sin campo magnético línea negra y con presencia de campo magnético de 0.5 T línea roja

La Fig. 5 a) corresponde a la característica I-V en escala lineal y la Fig. b) presenta los mismos resultados, pero en escala semi-logarítmica para hacer más claros los cambios que se producen. Un resultado relevante asociado al propósito de este trabajo es el efecto que se produce sobre las características I-V por la aplicación de un campo magnético.

La línea verde corresponde a la corriente que circula por la barrera sin campo magnético aplicado y la línea roja es la corriente eléctrica que fluye por la barrera cuando la estructura está polarizada y se aplica un magnético aplicado en dirección perpendicular a la superficie de la estructura. El efecto del campo magnético es que la corriente en la barrera Schottky disminuye; este resultado se puede explicar porque se produce un aumento en la resistencia por efecto del campo magnético correspondiente a la magnetorresistencia con el dispositivo en operación.

La característica I-V en la Barreras producida sobre las estructuras de varias capas se incluye en la Figura 6.

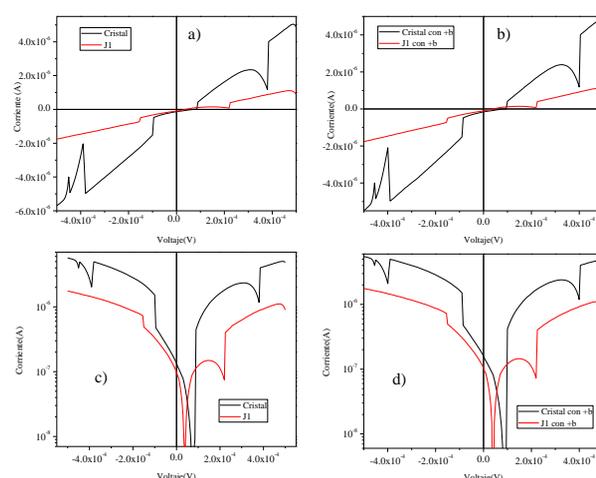


Figura 6 Curva I-V para un cristal de ZnO y la estructura de ZnO/Ti/ZnO(J1) a temperatura ambiente (a). Rectificación de magnetorresistencia en curvas IV, (b) en presencia de un campo magnético de 0.5 T (c y d) y sus representaciones logarítmicas

Discusión de resultados

De acuerdo al propósito del trabajo se busca dar una justificación a los cambios que se producen en la corriente de las estructuras cuando estas se exponen a un campo magnético. En la Figura 4 a) se presenta el comportamiento característico de las barreras Schottky de silicio en polarización directa e inversa con voltajes menores a 300 mV sin campo magnético aplicado. Se observa el efecto de la barrera y se indica la corriente de saturación característica en los dispositivos. En las figuras 5 se presentan los datos obtenidos en la barrera Schottky que se fabricó, la corriente de saturación de la barrera fue de 2.0×10^{-7} A, de acuerdo a la literatura este valor es usual en los dispositivos de silicio.

En esta figura se ve el efecto que produce la aplicación del campo magnético, la corriente en la barrera disminuye lo que indica que se manifiesta el efecto magneto resistivo, la corriente disminuye hasta 6.36×10^{-8} A, un factor de 3.

Conclusiones

Mediante microscopia SEM se pudo observar la superficie de la estructura J1 (ZnO/Ti/ZnO) obtenida mediante magnetron sputtering es homogénea, presentando partículas menores a 100nm. Asimismo, para corroborar la presencia de la capa intermedia de Ti se realizó análisis EDS obteniendo ~2 % en porcentaje atómico de Ti.

Los estudios de propiedades eléctricas muestran que la estructura J1 es tipo-n y presentan una resistividad de $4.9 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$, con concentración de portadores de $\approx 10^{21}$, con una movilidad del electrón de 1.26.

Se encontró que la aplicación del campo magnético en la barrera Schottky de silicio produce un cambio en la magneto resistencia que reduce la corriente en la estructura en un factor de 3.

Referencias

Hanbicki A. T., Magno R., Cheng S. F., Park Y. D., Bracker A. S., and Jonker B. T. (2001) Nonvolatile reprogrammable logic elements using hybrid resonant tunneling diode-giant magnetoresistance circuits, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, no. 8, pp. 1190–1192,.

Likovich E. *et al.*, (2009) Magnetoresistance in an asymmetric Ga1-xMnxAs resonant tunneling diode, *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.*, vol. 80, no. 20, pp. 15–18,.

Slobodan Obradović¹ N. D., Borivoje Milošević² (2011) Magnetoresistive Random Access Memory, *Handb. Spin Transp. Magn.*, vol. VII-2, pp. 196–206.

Zhang K. *et al.*, (2015). Large rectification magnetoresistance in nonmagnetic Al/Ge/Al heterojunctions,” *Sci. Rep.*, vol. 5, pp. 1–6, 2015.