

## DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES PARA SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE ENERGÍA POR RADIOFRECUENCIA

*Miguel Angel Gomez Alvarez. Estudiante de Doctorado en Tecnología Avanzada UPIITA*

*Email: [boys742@hotmail.com](mailto:boys742@hotmail.com)*

*Luis Martín Reséndiz Mendoza. Profesor – Investigador de la SEPI UPIITA*

*Email: [Iresendiz@ipn.mx](mailto:Iresendiz@ipn.mx)*

*Víctor Cabrera Arenas. Profesor – Investigador de la SEPI UPIITA*

*Email: [vcabreraa@ipn.mx](mailto:vcabreraa@ipn.mx)*

### Abstract

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la fabricación de diodos Schottky con estructuras: silicio/óxido de silicio/cromo/oro/óxido de zinc/aluminio y vidrio/aluminio/óxido de zinc/oro. Con los parámetros eléctricos extraídos de las características eléctricas de los diodos Schottky experimentales se analizó por simulación el funcionamiento de un circuito doble rectificador de media onda a una frecuencia de 868 MHz y amplitud de 3 V. Los resultados de la simulación muestran que los diodos Schottky fabricados en este trabajo pueden ser una alternativa útil para usarse en circuitos rectificadores comúnmente utilizados en los sistemas de recolección de energía por radiofrecuencia.

### I. INTRODUCCIÓN

Recolección de energía es capturar o captar energía residual de la naturaleza y convertirla en energía eléctrica útil que sirva como alimentación de algún dispositivo o sistema. Las fuentes de energía ambiental incluyen energía solar, gradientes de temperatura, ondas electromagnéticas, ondas de radiofrecuencia, entre otras.

Un recolector de energía de ondas de radiofrecuencia es un sistema electrónico que consiste comúnmente de una antena y de un circuito rectificador que captura la energía ambiental producida por fuentes externas, dicha energía se encuentra en el rango de frecuencias de 300 a 3000 MHz, (por ejemplo, emisiones de radio, televisiones, antenas y teléfonos móviles) [1].

Los sistemas de recolección de energía por radiofrecuencia pueden ser utilizados como fuentes de alimentación para redes de pequeños sensores inalámbricos o microprocesadores de bajo consumo de energía [2].

Las principales ventajas de los sistemas de recolección de energías de radiofrecuencias con respecto a las baterías eléctricas son: tiempo de vida útil muy grande por su baja potencia de

operación, bajo costo y además, estos sistemas son amigables con el medio ambiente, debido a que no causan ningún tipo de contaminación o desecho tóxico [3-4].

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El sistema de recolección de energía por radiofrecuencia se compone de una antena dipolo (rectena) que capta la energía del ambiente, dicha energía es de ultra-alta frecuencia (entre 300 y 3000 MHz), baja potencia de operación ( $\sim$  mW o entre 5 y 20 dBm) y baja amplitud (entre 1 y 3V). La antena dipolo se conecta a un circuito rectificador, el circuito rectificador está compuesto por uno, dos o cuatro diodos Schottky (dispositivo semiconductor rectificador con bajo voltaje de umbral entre 0.2 y 0.4 V, basado en la unión de un metal y un semiconductor) [5-6].

Debido a los bajos niveles de potencia de las señales de RF ambientales, dos puntos críticos en los sistemas de recolección son su eficiencia y su mínima potencia de encendido. Considerando lo anterior, los diodos Schottky han sido ampliamente utilizados en este tipo de aplicaciones. Debido a que su voltaje de encendido es menor al de los típicos diodos rectificadores de unión (dispositivo semiconductor rectificador con un voltaje de umbral de 0.7 V en diodos de silicio, basado en la unión de un semiconductor tipo p y un semiconductor tipo n).

En los últimos años se han desarrollado diodos y circuitos integrados basados en semiconductores orgánicos [7] y óxidos semiconductores metálicos [8]. Por ejemplo, Chasin et al. [9] desarrollaron un sistema de recolección de energía de ultra alta frecuencia (868 MHz) basado en diodos Schottky de óxido de indio-galio-zinc amorfo a-IGZO con una configuración de doble rectificador de media onda, Figura 1; el sistema es capaz de entregar más de 1  $V_{CD}$ .

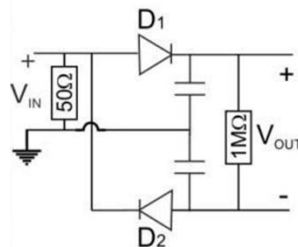


Figura 1. Circuito doble rectificador de media onda.

## III. DESARROLLO

En la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la UPIITA en colaboración con la Universidad de Texas en Dallas, se fabricaron diodos Schottky con estructuras silicio(Si)/óxido

de silicio(SiO<sub>2</sub>)/cromo(Cr)/oro(Au)/óxido de zinc(ZnO)/aluminio(Al) y vidrio/aluminio(Al)/óxido de zinc(ZnO)/oro(Au), Figura 2.

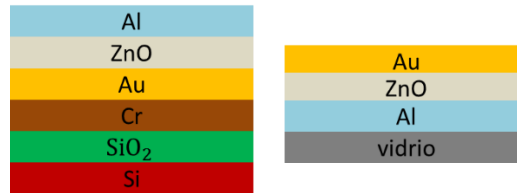


Figura 2. Estructuras de los diodos Schottky fabricados.

Los dispositivos fabricados se caracterizaron eléctricamente, Figura 3.

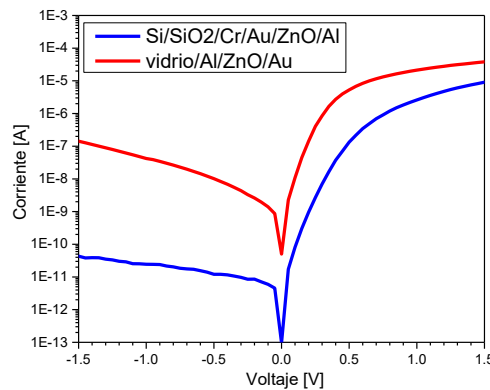


Figura 3. Mediciones I-V experimentales de los diodos Schottky.

Utilizando la teoría de la emisión termoiónica, la corriente de los diodos Schottky se describe por [10]:

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \tag{1}$$

donde  $I_s$  está dada por:

$$I_s = AR^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \tag{2}$$

$q$  es la carga del electrón,  $V$  es el voltaje aplicado,  $A$  es el área efectiva del diodo,  $T$  es la temperatura,  $R^*$  es la constante de Richardson,  $k$  es la constante de Boltzmann's.  $I_s$  es la corriente de saturación inversa, la cual es la pequeña corriente de fuga en polarización inversa, en el orden de picoamperes.  $n$  es el factor de idealidad, el cual representa la

desviación de la corriente en polarización directa con respecto a la del diodo ideal.  $\Phi_b$  es la altura de la barrera de potencial, la cual es el valor de la energía que requieren los electrones para encender el dispositivo en polarización directa.  $R_s$  es la resistencia en serie, la cual representa la oposición al flujo de corriente dada por el contacto en polarización directa.

A partir de las curvas  $I$ - $V$  de los dispositivos experimentales, se extrajeron los principales parámetros de las ecuaciones (1) y (2), mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros eléctricos extraídos de las mediciones  $I$ - $V$  de los diodos Schottky.

Parámetros	Estructura: Si/SiO <sub>2</sub> /Cr/Au/ZnO/Al	Estructura: vidrio/Al/ZnO/Au
Factor de Idealidad, $n$	1.5	1.5
Altura de Barrera, $\Phi_b$ [eV]	0.71	0.72
Corriente de saturación, $I_s$ [A]	$6.067 \times 10^{-12}$	$8.083 \times 10^{-10}$
Resistencia en serie, $R_s$ [k $\Omega$ ]	96.022	27.496

Con el fin de analizar el comportamiento que podrían tener los dispositivos experimentales en los circuitos rectificadores utilizados en los sistemas de recolección de energía, se realizó en el programa AIM-Spice la simulación de un circuito doble rectificador de media onda utilizando los parámetros extraídos, Figura 4.

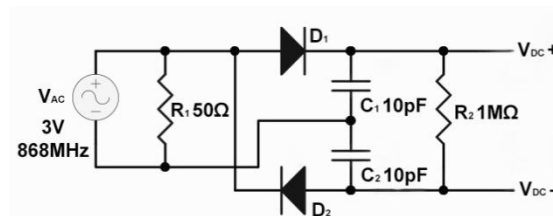


Figura 4. Diagrama del circuito doble rectificador de media onda.

En la Figura 5 se muestra el voltaje de salida obtenido del circuito rectificador doble de media onda para una señal de CA de entrada con amplitud de 3 V a una frecuencia de 868 MHz. Para los dispositivos con estructura silicio/óxido de silicio/cromo/oro/óxido de zinc/aluminio el voltaje total rectificado es igual a 1.25 V y, para los dispositivos con estructura vidrio/aluminio/óxido de zinc/oro es igual a 1.40 V [11].

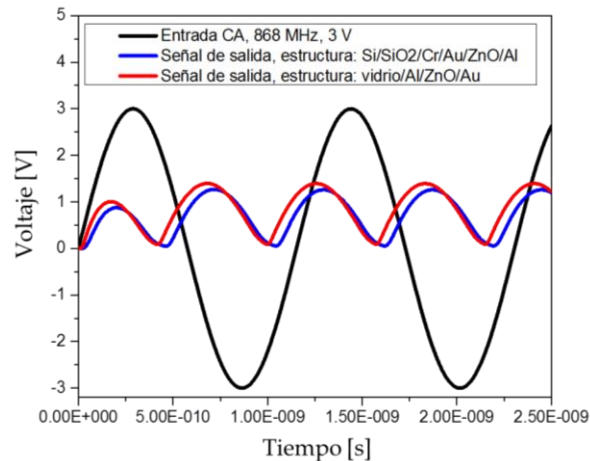


Figura 5. Voltaje rectificado simulado para un circuito rectificador doble de media onda.

#### IV. CONCLUSIONES

Los voltajes de salida rectificadas fueron de 1.25 y 1.40 V obtenidos de la simulación de un circuito rectificador doble de media onda utilizando los parámetros extraídos de los diodos Schottky experimentales con estructuras: silicio/óxido de silicio/cromo/oro/óxido de zinc/aluminio y, vidrio/aluminio/óxido de zinc/oro, respectivamente. Sin embargo para poder evaluar el desempeño de los diodos Schottky fabricados en este trabajo a ultra-alta frecuencias de operación (rango de frecuencia común de trabajo de los recolectores de energía), es necesario extraer parámetros de modelos de CA de los diodos Schottky.

#### VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecemos al Dr. Manuel Quevedo y al Dr. Israel Mejía por brindarnos el apoyo para realizar los experimentos en los laboratorios del Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería de la Universidad de Texas en Dallas y al CONACYT por la beca Mixta que permitió realizar la estancia de investigación en dicha Universidad.

#### VII. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN CURSO

Proyecto SIP 20171781

#### V. REFERENCIAS

[1] M. Yilmaz, B. A. Tunkar, S. Park, K. Elrayes, M. A. E. Mahmoud, E. Abdel-Rahman, M. Yavuz, High-efficiency passive full wave rectification for electromagnetic harvesters, *Journal of Applied Physics* 116 (2014), 134902.

- [2] T. Le, K. Mayaram, and T. Fiez, Efficient Far-Field Radio Frequency Energy Harvesting for Passively Powered Sensor Networks, *IEEE Journal of Solid-State Circuits* 43 (2008), 1287.
- [3] Y. Zhou, B. Froppier and T. Razban, Radiofrequency ambient level energy harvesting, *Wireless Power Transfer* 2 (2015), 121.
- [4] Brown, W.C., The history of power transmission by radio waves, *IEEE Trans. Microw., Theory Tech.*, 32 (1984), 1230.
- [5] Pinuela, Mitcheson, Lucyszyn, Ambient RF energy harvesting in urban and semi-urban environments, *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 61 (2013), 2715.
- [6] A. Chasin, V. Volskiy, M. Libois, K. Myny, M. Nag, M. Rockelé, G. A. E. Vandenbosch, J. Genoe, G. Gielen, P. Heremans, An Integrated a-IGZO UHF Energy Harvester for Passive RFID Tags, *IEEE Transactions on Electron Devices* 61 (2014), 3289.
- [7] K. Myny, S. Steudel, P. Vicca, J. Genoe, and P. Heremans, An integrated double half-wave organic Schottky diode rectifier on foil operating at 13.56 MHz, *AIP Publishing* 93 (2008), 093305.
- [8] A. Chasin, S. Steudel, F. Vanaverbeke, K. Myny, M. Nag, T-H. Ke, S. Schols, G. Gielen, J. Genoe, P. Heremans, UHF IGZO Schottky Diode, *IEEE International Electron Device Meeting* 88 (2012), 1988.
- [9] A. Chasin, V. Volskiy, M. Libois, M. Ameys, M. Nag, M. Rockele, K. Myny, S. Steudel, S. Schols, G. A. E. Vandenbosch, W. de Raedt, J. Genoe, G. Gielen and P. Heremans, Integrated UHF a-IGZO Energy Harvester for Passive RFID Tags, *IEEE International Electron Device Meeting* 13 (2013), 292.
- [10] A. B. Yadav, K. Singh, A. Pandey, S. Jit, Annealing-temperature effects on the properties of ZnO thin films and Pd/ZnO Schottky contacts grown on n-Si (100) substrates by vacuum deposition method, *Superlattices and Microstructures* 71 (2014), 250.
- [11] M. A. Gomez, Fabricación y caracterización eléctrica de diodos Schottky de películas delgadas de óxido de zinc, tesis de maestría, UPIITA-IPN, Ciudad de México, 2017.