

Propuesta de trabajo para las materias Laboratorio 6 y 7

Tema: *PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE MEMRISTORES BASADOS EN GCMO*

Alumnos: Martín Sattler – Javier Tau

Directores: Dr. Carlos Acha (acha@df.uba.ar) – Dra. Cynthia Quinteros (cquinteros@unsam.edu.ar)

Palabras Claves: Memristores – Junturas óxido/metal –Características IV- Espectroscopía de Impedancia – Memoria volátil o permanente - Bajas temperaturas (77-300 K).

Lugar de trabajo: Laboratorio de Bajas Temperaturas (BT) Depto de Física de la FCEyN y Laboratorio de Integración Nano-electrónica (LINE), ECyT-UNSAM.

Motivación:

Los memristores son dispositivos electrónicos que se caracterizan por su capacidad de variar, tanto en forma no-volátil como volátil, su resistencia eléctrica en función de la corriente que fluye a través de ellos. Hay distintas familias de memristores; nosotros nos centraremos en aquellos basados en junturas metal-óxido en las que el campo eléctrico favorece la migración de oxígenos.

El interés en estudiar las características corriente-tensión (IV) de los memristores a distintas temperaturas radica en que esta información permite conocer los mecanismos de conducción dominantes a través de una particular juntura metal-óxido. Por otro lado, la espectroscopía de impedancias es una técnica que permite medir la respuesta de un dispositivo ante diferentes frecuencias de corriente alterna. En el caso de los memristores, esta técnica se utiliza para estudiar la impedancia de las junturas metal-óxido. Ello proporciona una descripción eléctrica más completa de los dispositivos, dando información sobre tiempos característicos de respuesta, así como sobre la constante dieléctrica efectiva. Estos aspectos son esenciales para entender su funcionamiento y poder optimizar sus distintas propiedades memristivas (durabilidad, amplitud entre estados conductores y aislantes, velocidad de respuesta, etc).

Una de las características más interesantes de los memristores es su capacidad para imitar el comportamiento tanto de las sinapsis como de las neuronas de sistemas nerviosos. Esta propiedad se conoce como "neuromorfismo" y se ha convertido en un tema de gran interés en la comunidad científica en los últimos años.

Los memristores basados en la manganita $Gd_{1-x}Ca_xMnO_3$ (GCMO), que aquí proponemos estudiar, mostraron interesantes propiedades de conmutación resistiva, donde el dopaje electrónico en el GCMO producido por el reemplazo parcial de Gd por Ca modifica significativamente sus propiedades de conmutación resistiva.

En este marco, proponemos un estudio experimental sobre dispositivos memristivos basados en junturas de Al/ $Gd_{1-x}Ca_xMnO_3$ /Au, con distinto grado de dopaje (x) y espesor, sintetizados en Finlandia. En la actualidad se dispone en el LBT de técnicas para caracterización de memristores, como la obtención de curvas IV y la espectroscopía de impedancia (EI), cuyo control y adquisición se realiza mediante el software LabView®. Durante el Laboratorio 6 se buscará optimizar el control, la

adquisición y el procesamiento de las señales de la EI mediante *scripts* de Python que concatenen la totalidad de las tareas a realizar, en forma prácticamente sincrónica. Dado que los dispositivos que se disponen tienen contactos con tamaños en el orden de algunas centenas de micrones, se emplearán las probe stations, tanto del DF como del Laboratorio de Integración Nano-electrónica (LINE), ECyT-UNSAM, para facilitar su conexión a los instrumentos de medición. Se realizarán así caracterizaciones de la respuesta eléctrica tanto bajo estímulos quasi-DC como AC (EI) sobre un conjunto de dispositivos. Asimismo, se estudiará si la aplicación de campos magnéticos moderados en el plano de las películas condiciona la respuesta anteriormente observada. Más allá de la caracterización sistemática del conjunto de muestras disponibles, se pretende explorar un aspecto novedoso: la posible existencia de memoria volátil. Se han identificado en este sistema algunos indicios que indican la existencia de mecanismos que pueden dar lugar a cambios de dicha índole. En ese sentido, ya en la etapa del Laboratorio 7, se prevé su exploración exhaustiva y la caracterización de sus tiempos característicos. Para ello se desarrollará la técnica y la adquisición automática que permita documentar la efectiva existencia (o no) de la memoria volátil en los potenciales dispositivos.

Propuesta

Para este trabajo se prevén esencialmente las siguientes etapas:

A) Laboratorio 6

Estudio de espectroscopía de impedancia (EI) a temperatura ambiente de junturas basadas en interfaces metal/GCMO con distinto dopaje de Ca:

- Estudio de bibliografía asociada a memristores en general y a dispositivos basados en GCMO en particular.
- Estudio y puesta a punto de la técnica de EI.
 - 1) Interés de la técnica de EI, capacidades y limitaciones del equipo a emplear (LCR meter de Thongui).
 - 2) Desarrollo de un *software* de control, adquisición y procesamiento. Determinación de diagramas de Bode: Barridos en frecuencia, distintas amplitudes AC y DC. Modelos circuitales y ajuste de parámetros. Estadística e incertezas.
 - 3) Artificios y rango de sensibilidad: capacidades parásitas en puntas de prueba, portamuestras, *probe station* (posteriormente en crióstato). Comparación con mediciones efectuadas con el arreglo experimental disponible en ECyT-UNSAM (*probe station* + Keithley 4200 + matriz de *switch*).
 - 4) Uso de la *probe station* de la sala de muestras
 - 5) Calibraciones empleando el LCR. Determinación de impedancias. Comparación con otras técnicas.
 - 6) Caracterización del estado resistivo (ciclos de histéresis resistiva) mediante curvas IV de dispositivos Al/ $\text{Gd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ ($0 < x < 1$) a T ambiente. Medición de EI de dispositivos Al/ $\text{Gd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ ($0 < x < 1$) a T ambiente en estados de alta y baja resistencia.
 - 7) Medición de EI de dispositivos Al/ $\text{Gd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ ($0 < x < 1$) bajo campos magnéticos moderados.

B) Laboratorio 7

Estudio de la existencia de memoria volátil (respuesta transitoria) en aquellos dispositivos previamente estudiados que hayan mostrado una EI particular:

- Puesta a punto de una técnica pulsada para poner en evidencia la existencia de memoria volátil. Control por software de un sintetizador de funciones y osciloscopio.
- Caracterización de la memoria volátil: Determinación de parámetros relevantes (voltajes y número de pulsos de conmutación, tiempos característicos requeridos, tiempos de relajación)
- Sobre algún dispositivo específico podrán sumarse estudios adicionales de EI o de respuesta temporal a diferentes temperaturas en el rango de 77 K a 300 K.

Factibilidad:

Se dispone de sólidos antecedentes en la temática asociada al estudio de memristores y se cuenta en la actualidad con los dispositivos a estudiar. También se dispone de la electrónica necesaria, el instrumental y los insumos que pudieran requerirse. Se cuenta con fondos de UBACyT y de Proyectos PIP de Conicet para hacer frente a los gastos asociados a los desarrollos propuestos.

En resumen, los estudiantes se interiorizarán sobre: programación, incluyendo control de experimentos y procesamiento de datos mediante Python; estudio de propiedades eléctricas; montaje y diseño de experimentos bajo distintas condiciones, caracterización de materiales, elementos introductorios de física de la materia condensada, así como el trabajo en equipo en el seno de dos laboratorios de investigación. Eventualmente se podrá sumar, de ser necesario, la implementación de contactos eléctricos mediante fotolitografía, técnicas criogénicas y de vacío y termometría de bajas temperaturas. **El presente plan es factible de realizarse en dos cuatrimestres, para lo cual se solicita un trabajo semanal de 12 horas para dos alumnos.**

Bibliografía:

Sobre técnicas experimentales:

- “Experimental Techniques in Condensed Matter Physics at Low Temperatures”, editado por R. C. Richardson y E. N. Smith, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- C. Rose-Innes, *Low Temperature Technique* (The English Universities Press Ltd., 102 Newgate Street, London, 1964).

Sobre física específica:

- “Introducción a la física del estado sólido”, Ashcroft y Mermin.
- Tesis varias y publicaciones sobre las propiedades memristivas y eléctricas de interfaces metal-óxido.
- G.Meijer, Science 319 (2008) 1625
- A.Sawa et al., Materials Today, 11, (2008) 28
- R.Waser et al., Adv.Materials 21(2009) 2632-2663
- J. Yang et al., Nature Nanotechnology doi:10.1038 (2008)
- Waser and Aono, Nat Mater. v6, 833 (2007)
- Z. Xing et al., APL 91 (2007) 052106
- En la página http://www.scholarpedia.org/article/Resistive_switching se describe la temática.

Drs. Cynthia Quinteros y Carlos Acha