



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
LABORATORIO DE BAJAS TEMPERATURAS
Depto. de Física – Pab. I Ciudad Universitaria – C1428EHA
CABA – Tel: 528-57413 – Fax: 528-57570

Propuesta de Trabajo de Tesis de Licenciatura

Director: Dr. Carlos Acha
Año 2021

“Desarrollo de una red neuronal para el estudio de dispositivos memristivos”

Motivación:

Las observaciones de conmutación resistiva inducida por pulsos eléctricos en diversas interfaces metal-óxido a temperatura ambiente crearon una gran atención en los últimos años por su potencial aplicación para construir una nueva generación de memorias no volátiles de estado sólido (llamadas *memristores*), gracias a su menor consumo de energía, su capacidad de fusionar localmente elementos tanto lógicos como de almacenamiento de un estado y, principalmente, la posibilidad de reducir su tamaño más allá del límite actual para el funcionamiento de las memorias flashⁱ. De igual modo, las memorias flash son relativamente lentas y tienen un número de ciclos limitado de escritura / borrado. El objetivo tecnológico en esta área es desarrollar una memoria ideal, rápida, escaleable a unos pocos nanómetros y de mayor durabilidadⁱⁱ. Del punto de vista de la ciencia básica estos dispositivos se basan en el mecanismo de conmutación resistiva. Esto se observa en interfaces metal-óxido donde, tras aplicar un voltaje superior a un cierto valor de disparo, la resistencia eléctrica varía conmutando en forma reversible y no-volatil dependiendo de la polaridad aplicada (efecto bipolar) o de la intensidad de corriente que circula (efecto no polar). Si bien este efecto se conoce hace más de 40 años y se renovó su interés por las necesidades tecnológicas y las capacidades experimentales actuales, todavía no se tiene un conocimiento acabado sobre el origen químico y microscópico que regula el efecto en estos materiales. El efecto ha sido observado para numerosos óxidos simples (o binarios)ⁱⁱⁱ (CuO, NiO, TiO₂, HfO₂, ZrO) pero también para óxidos más complejos, como las manganitas^{iv} o los cupratos superconductores^v donde ya hemos realizado varios avances hacia el entendimiento del mecanismo, entre los que se destaca un modelo basado en la difusión de vacancias de oxígeno que logra reproducir resultados experimentales no triviales^{vi}.

Trabajos recientes realizados por nuestro grupo^{vii-viii} han mostrado que los dispositivos memristivos basados en óxidos complejos presentan un transporte eléctrico propio de un sistema inhomogéneo. En efecto, la descripción de su conducción en términos de sus características corriente-tensión (I-V) muestra la coexistencia de diversos procesos en paralelo tanto óhmicos como no-lineales. Su origen puede asociarse con el desorden de fases aislantes y conductoras provocado por la aplicación de pulsos eléctricos, así como por la afinidad y difusión de especies químicas en la zona interfacial.

Poner en evidencia los distintos mecanismos que intervienen particularmente en una juntura memristiva implica lograr una descripción matemática adecuada de sus características



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

LABORATORIO DE BAJAS TEMPERATURAS

Depto. de Física – Pab. I Ciudad Universitaria – C1428EHA

CABA – Tel: 528-57413 – Fax: 528-57570

eléctricas. Esto lleva a ajustar los datos experimentales mediante expresiones cuya determinación de parámetros implica resolver numéricamente una ecuación implícita trascendental. Es por ello que proponemos, como método alternativo, diseñar y entrenar una red neuronal con el objetivo de, a partir de las características IV de un dispositivo, determinar los mecanismos de conducción dominantes, así como los parámetros que los caracterizan.

Objetivos y Plan de Trabajo:

-1) Se buscará generar un conjunto de datos para entrenamiento de una red neuronal, correspondientes a pares IV de circuitos asociados con un único proceso de conducción y con combinaciones de los mismos. Entre los procesos típicos se destaca la conducción óhmica, la que se tiene entre uniones metálicas y semiconductoras (Schottky), la de diodos del tipo Schoekley (junturas np y pn), emisiones Poole-Frenkel, procesos ligados a la acumulación de carga espacial (SCLC), etc...Partiendo de las ecuaciones correspondientes de un tipo de transporte o de una combinación particular, se propondrán valores para los parámetros asociados y se obtendrán, resolviendo numéricamente las ecuaciones, los valores de I asociados a los valores de V propuestos.

Para los conjuntos de datos IV así obtenidos, se podrá determinar el parámetro $\gamma = d(\ln I)/d(\ln V)$ y graficarlo vs $V^{1/2}$ (curvas γ)^{ix}, que ha mostrado ser un método gráfico de gran utilidad para discriminar la presencia dominante de los mecanismos mencionados en el estudio de dispositivos memristivos^x. Podrá tenerse así una representación gráfica adicional a los valores numéricos como una base de datos extendida para el entrenamiento de una red neuronal.

-2) Se diseñará la mencionada red neuronal^{xi} fijando su número de neuronas y de capas para proceder a su entrenamiento con la base IV y las curvas γ .

-3) Habiendo comprobado el grado de efectividad de la red neuronal en la determinación de los mecanismos de conducción ligados a las curvas IV y gamma, se comprobará su capacidad de analizar dtos experimentales ligados a mediciones IV de circuitos simples, puros y con combinaciones de elementos no-lineales y óhmicos (diodos y resistencias).

Factibilidad:

Los puntos -1) y -2) pueden desarrollarse en forma remota, bastando que el/la estudiante disponga de una computadora donde pueda correr un software para resolver numéricamente ecuaciones implícitas, así como el correspondiente al desarrollo y entrenamiento de redes neuronales. Para el punto -3), el laboratorio de Bajas Temperaturas del Depto de Física – FCEyN- UBA cuenta con todas las facilidades experimentales, las fuentes de financiamiento y las colaboraciones necesarias para llevar a cabo los experimentos propuestos. Dado que se prevé que el punto -3) se desarrolle en el último bimestre del plan propuesto, se espera que no haya dificultades en su realización, que requiere de pocas horas presenciales, pudiéndose realizar en forma remota la recolección de los datos experimentales.



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
LABORATORIO DE BAJAS TEMPERATURAS
Depto. de Física – Pab. I Ciudad Universitaria – C1428EHA
CABA – Tel: 528-57413 – Fax: 528-57570

Dr. Carlos Acha
Prof. Asociado – UBA
Inv. Ppal - CONICET

Referencias:

- ⁱ R. F. Freitas, W. W. Wilcke., **IBM J. RES. & DEV.**, 52 NO. 4/5, 439 Jul/Sept 2008.
- ⁱⁱ G. W. Burr *et al.*, **IBM J. RES. & DEV.**, 52 NO. 4/5, 449 Jul/Sept 2008.
- ⁱⁱⁱ A. Sawa, *Materials Today*, **11**, 28 (2008). - R. Waser and M. Aono, **Nat. Mater.** **6**, 833 (2007).
- ^{iv} M. Quintero, A. G. Leyva, P. Levy and M. J. Rozenberg, **Phys. Rev. Lett.** **98**, 116601 (2007).
- ^v C. Acha and M. J. Rozenberg, **J. Phys.: Condens. Matter** **21** 045702 (2009).
- ^{vi} M. J. Rozenberg, M.J.Sánchez, R.Weht, C. Acha, F. G. Marlasca and P. Levy, **Phys.Rev.B** **81**, 115101(2010).
- ^{vii} C. Acha, A. Schulman, M. Boudard, K. Daoudi and T. Tsuchiya, **App. Phys. Lett.** **109** (2016) 11603.
- ^{viii} W. Román Acevedo, C. Acha, M.J. Sánchez, P. Levy, D. Rubi, **App. Phys. Lett.** **110** (2017) 053501.
- ^{ix} GRAPHICAL ANALYSIS OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS IN TYPICAL MEMRISTIVE INTERFACES, C. Acha, **Journal of Applied Physics** **121** (2017) **134502**.
- ^x LARGE MEMCAPACITANCE AND MEMRISTANCE AT Nb:SrTiO₃/La_{0.5}Sr_{0.5}Mn_{0.5}Co_{0.5}O_{3-d} TOPOTACTIC REDOX INTERFACE, W. R. Acevedo, C. A. M. van den Bosch, M. H. Aguirre, C. Acha, A. Cavallaro, C. Ferreyra, M. J. Sánchez, L. Patrone, A. Aguadero and D. Rubi, **Appl. Phys. Lett.** **116**, 063502 (2020).
- ^{xi} Bishop, C. M. **Pattern Recognition and Machine Learning** (<https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2006/01/Bishop-Pattern-Recognition-and-Machine-Learning-2006.pdf>).