

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ КВАНТОВЫХ ПРОВОДНИКОВ В НАНОТУБУЛЯРНОМ ДИОКСИДЕ ЦИРКОНИЯ

Петренёв И.А.<sup>1</sup>, Вохминцев А.С.<sup>1</sup>, Мартемьянов Н.А.<sup>1</sup>, Камалов Р.В.<sup>1</sup>,  
Вайнштейн И.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1)</sup> Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2)</sup> Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г.  
Екатеринбург, Россия  
E-mail: i.a.petrenov@urfu.ru

## THERMAL STABILITY OF QUANTUM CONDUCTIVE FILAMENTS IN NANOTUBULAR ZIRCONIA

Petrenyov I.A.<sup>1</sup>, Vokhmintsev A.S.<sup>1</sup>, Martemyanov N.A.<sup>1</sup>, Kamalov R.V.<sup>1</sup>,  
Weinstein I.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1)</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2)</sup> Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Yekaterinburg, Russia

Resistive memory cells based on a 1.7  $\mu\text{m}$  thick zirconia nanotubular layer were fabricated. Conductance quantization was shown due to the formation of quantum filaments consisting of oxygen vacancies. The rupture of filaments was observed at 75 °C temperature.

В настоящее время диоксид циркония  $\text{ZrO}_2$  активно используется во множестве областей науки и техники, таких как твердотельная дозиметрия ионизирующих излучений, катализ, фотоника и наноэлектроника. Например, в последнем случае  $\text{ZrO}_2$  служит основой ячеек резистивной памяти благодаря большому диапазону изменения сопротивлений ( $> 10^6$ ) [1], низкому уровню потребления энергии, высоким характеристикам надёжности и устойчивости ( $> 2000$  циклов и  $> 30$  суток работы) [2]. Кроме того, в нанотубулярных массивах  $\text{ZrO}_2$  показана возможность формирования квантовых проводящих состояний [3]. Известно, что время жизни квантовых проводников при комнатной температуре в мемристивных структурах на основе тонких слоёв оксидов ограничено десятками минут [4]. В данной работе исследовано влияние температуры на стабильность квантовых проводящих каналов в мемристивной сэндвич-структуре на основе нанотрубок диоксида циркония.

Нанотрубки  $\text{ZrO}_2$  длиной 1.7 мкм получены методом контролируемого анодного окисления металлического циркония в содержащем фтор электролите [5]. Золотые электроды толщиной 50 нм и диаметром 140 мкм наносились на массив  $\text{ZrO}_2$  магнетронным способом через маску. Электрическая проводимость  $G$  полученных мемристоров  $\text{Zr}/\text{ZrO}_2/\text{Au}$  определялась из экспериментальных вольт-амперных характеристик (ВАХ), измеренных на микрозондовой станции Cascade Microtech MPS150 с нагревательным столиком и управляемым

модульным блоком питания PXIe-4143. Zr-подложка заземлялась, а управляющий сигнал подавался на Au-контакты.

Измерены ВАХ изготовленных сэндвич-структур Zr/ZrO<sub>2</sub>/Au в диапазоне температур  $T = 20\text{--}100$  °С при приложении электрического сигнала положительной и отрицательной полярностей в квазистатическом и импульсном режимах. Продемонстрировано наличие квазистабильных проводящих состояний исследуемых мемристоров, кратных целым и полуцелым значениям кванта проводимости  $G_0 \approx 77.5$  мкСм при увеличении температуры. Показано, что сформированные квантовые проводники стабильны при  $T < 75$  °С (рис. 1). При дальнейшем нагреве происходит их постепенное разрушение вплоть до полного перехода структуры в состояние с высоким сопротивлением. Таким образом, реализовано переключение между стабильными резистивными состояниями мемристоров в направлении уменьшения проводимости.

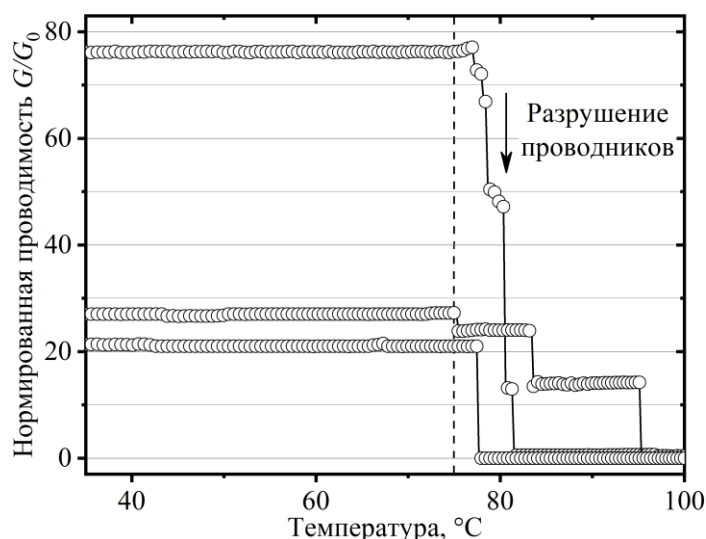


Рис. 1. Зависимости нормированной проводимости  $G/G_0$  от температуры  $T$  для мемристоров Zr/ZrO<sub>2</sub>/Au

На основе выполненных температурных исследований ВАХ мемристоров Zr/ZrO<sub>2</sub>/Au подтверждена квантовая природа создаваемых проводящих каналов, а также расширена модель [3] процессов формирования и разрушения квантовых проводников в нанотрубках ZrO<sub>2</sub> с участием кислородных вакансий.

*Работа выполнена при поддержке научного проекта Минобрнауки FEUZ-2023-0014*

1. W. Guan, S. Long, Q. Liu, M. Liu, W. Wang, IEEE Electron Device Letters, 29, 434 (2008).
2. M.U. Khan, G. Hassan, J. Bae, Applied Physics A, 125, 378 (2019).
3. A.S. Vokhmintsev, I.A. Petrenyov, R.V. Kamalov, I.A. Weinstein, Nanotechnology, 33, 075208 (2022).

4. G. Milano, M. Aono, L. Boarino, U. Celano, T. Hasegawa, M. Kozicki, S. Majumbar, M. Menghini, E. Miranda, C. Ricciardi, S. Tappertzhofen, K. Terabe, I. Valov, *Advanced Materials*, 34, 2201248 (2022).
5. I.A. Petrenyov, R.V. Kamalov, A.S. Vokhmintsev, N.A. Martemyanov, I.A. Weinstein, *Journal of Physics: Conference Series*, 1124, 022004 (2018).