

ТЕРМИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННОЕ РЕЗИСТИВНОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ В МЕМРИСТИВНОЙ СТРУКТУРЕ ВТОРОГО РОДА НА ОСНОВЕ НАНОТУБУЛЯРНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Петренёв И.А.¹, Вохминцев А.С.¹, Вайнштейн И.А.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

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

THERMALLY INDUCED RESISTIVE SWITCHING IN SECOND-ORDER MEMRISTIVE STRUCTURE BASED ON NANOTUBULAR ZIRCONIA

Petrenyov I.A.¹, Vokhmintsev A.S.¹, Weinstein I.A.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

The zirconia-based memristive structure demonstrated the formation and rupture of quantum and ohmic conductive filaments under electrical and thermal impact. Parameters of the insulator layer were derived from conduction mechanism models. Equivalent circuits were proposed for all resistive states.

Применение нанотубулярных массивов оксидов переходных металлов, полученных методом анодирования с последующей функционализацией, обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами, которые определяются структурными дефектами собственной и примесной природы [1]. Например, эффект резистивного переключения в двухэлектродных мемристивных структурах «металл/диэлектрик/металл» на основе нанотубулярных массивов ZrO_2 , как правило, связан с обратимым формированием и разрушением в оксидном слое проводящих каналов (в т.ч. с образованием квантового точечного контакта [2]) из кислородных вакансий или ионов металла [3]. Проводимость мемристивных структур первого рода полностью определяется внешними воздействиями, в то время как в структуре второго порядка – как внешними воздействиями, так и её мгновенным внутренним состоянием [4]. Одной из основных характеристик, описывающих такое состояние, может быть температура [4]. В данной работе исследованы проводящие свойства нанотрубок ZrO_2 в различных резистивных состояниях для квантовых и омических проводников при температурах выше комнатной.

Нанотубулярный слой ZrO_2 толщиной 1.7 мкм получен методом анодирования металлического циркония в двухэлектродной ячейке при постоянном напряжении 20 В в течение 5 мин [5]. Золотые электроды толщиной

50 нм и диаметром 140 мкм нанесены на массив нанотрубок ZrO_2 методом магнетронного напыления.

Электрическая проводимость мемристоров со структурой $Zr/ZrO_2/Au$ определялась из экспериментальных вольт-амперных характеристик (ВАХ), измеренных с помощью микрозондовой станции Cascade Microtech MPS 150 с нагревательным столиком и управляемым модульным блоком питания PXIe-4143. Zr-подложка заземлялась, управляющий сигнал подавался на Au-контакты.

Для изготовленных сэндвич-структур $Zr/ZrO_2/Au$ измерены ВАХ в диапазоне температур 20–120 °С при приложении электрического сигнала положительной и отрицательной полярностей в квазистатическом и импульсном режимах. Продемонстрировано возможное одновременное формирование квантовых и омических проводников, которые отличаются значениями сопротивлений в низкоомном состоянии, температурными зависимостями проводимости и температурами переключения в высокоомное состояние. В рамках модели омической проводимости проведена оценка положения уровня Ферми относительно дна зоны проводимости для проводящих каналов без квантового точечного контакта. После необратимого резистивного переключения в результате приложения внешнего электрического поля или температурного воздействия наблюдается состояние с высоким сопротивлением. Для него в рамках модели проводимости, ограниченной пространственным зарядом, рассчитаны значения подвижности носителей заряда, их концентрация при термодинамическом равновесии, концентрации ловушек, их сечение захвата и др. Предложена эквивалентная электрическая схема для структуры в различных резистивных состояниях с учётом формирования квантовых и омических проводящих каналов.

Работа выполнена при поддержке научного проекта Минобрнауки РФ FEUZ-2023-0014.

1. А.А. Ремпель, А.А. Валеева, А.С. Вохминцев, И.А. Вайнштейн, Успехи химии, 90, 1397–1414 (2021); <https://doi.org/10.1070/rcr4991>.
2. G. Milano, M. Aono, L. Boarino, U. Celano, T. Hasegawa, M. Kozicki, S. Majumdar, M. Menghini, E. Miranda, C. Ricciardi, S. Tappertzhofen, K. Terabe, I. Valov, Advanced Materials, 34, 2201248 (2022); <https://doi.org/10.1002/adma.202201248>.
3. A.S. Vokhmintsev, I.A. Petrenyov, R.V. Kamalov, I.A. Weinstein, Nanotechnology, 33, 075208 (2022); <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac2e22>.
4. S. Kim, C. Du, P. Sheridan, W. Ma, S.-H. Choi, W.D. Lu, Nano Letters, 15, 2203–2211 (2015); <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b00697>.
5. I.A. Petrenyov, R.V. Kamalov, A.S. Vokhmintsev, N.A. Martemyanov, I.A. Weinstein, Journal of Physics: Conference Series, 1124, 022004 (2018); <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1124/2/022004>.