

4. Hikami S. Spin-Orbit Interaction and Magnetoresistance in the Two Dimensional Random System / S. Hikami, A.I. Larkin, Y. Nagaoka // Prog. Theor. Phys. – 1980. – V. 63, № 2. –P. 707–710.
5. Rosenbaum R. Superconducting fluctuations and magnetoconductance measurements of thin films in parallel magnetic fields / R. Rosenbaum // Phys. Rev. B. – 1985. – V. 32, № 4. –P. 2190–2199.

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОНТАКТА ГИДРАТИРОВАННЫХ НАНОПОРОШКОВЫХ ОКСИД ЦИРКОНИЕВЫХ КОМПАКТОВ С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ НАНОЧАСТИЦ

А. С. Дорошкевич^{1,2}, А. И. Любчик³, Н. С. Тихонова¹, А. С. Захарова^{1,5},
Е. А. Гридина^{1,5}, А. К. Кириллов⁴, Т. А. Василенко⁴, Т. Е. Константинова²,
А. В. Шило², Б. Л. Оксенгендлер⁶, Н. Н. Тураева⁶, Ю. Ю. Бачериков⁷,
И. А. Даниленко², О. А. Горбань²

¹⁾ *Объединенный институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри, 6, 141980
Дубна, Московская область, Российская Федерация, e-mail: doroh@jinr.ru*

²⁾ *Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАНУ. пр. Науки, 46,
Киев, 03028, Украина, e-mail: art.shylo@gmail.com*

³⁾ *i3N/CENIMAT, Department of Materials Science, Faculty of Science and Technology,
New University of Lisbon and CEMOP/UNINOVA, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica,
Portugal, e-mail: andrey.lyubchik@campus.fct.unl.pt*

⁴⁾ *Институт физики горных процессов НАНУ, ул. Симферопольская, д. 15, 49005,
г. Днепр, Украина, e-mail: kirillov1953@inbox.ru*

⁵⁾ *Университет Дубна, 141982 Дубна, Московская область, ул. Университетская, 19,
Российская Федерация, e-mail: tatyana.zelenyak@bk.ru*

⁶⁾ *Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова
Академии наук республики Узбекистан, e-mail: oksengendlerbl@yandex.ru*

⁷⁾ *Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева. НАН Украины,
проспект Науки, 41, Киев, Украина, 02000, e-mail: yuyui@isp.kiev.ua*

Методами спектроскопии электрохимического импеданса исследован контакт однородных разноразмерных гидратированных наночастиц стабилизированного иттрием оксида циркония (YSZ) размером 7,5 и 10 нм в виде компактов, полученных с использованием высокого гидростатического давления. Установлена нелинейная зависимость электрических свойств контакта от потенциала смещения.

Ключевые слова: импедансная спектроскопия; нанопорошковые системы на основе ZrO₂; адсорбция; гетеропереход.

IMPEDANCE SPECTROSCOPY OF CONTACT OF HYDRATED ZIRCONIUM OXIDE NANOPOWDER COMPACTS WITH DIFFERENT SIZES OF NANOPARTICLES

A. S. Doroshkevich^{1,2}, A. I. Lyubchik³, N. S. Tichonova¹, A. S. Zakharova^{1,5},
E. A. Gridina^{1,5}, A. K. Kirillov⁴, T. A. Vasilenko⁴, T. E. Konstantinova², A. V. Shilo²,
B. L. Oxengendler⁶, N. N. Turaeva⁶, Yu. Yu. Bacherikov⁷, I. A. Danilenko², O. A. Gorban²

¹⁾ Joint Institute for Nuclear Research, 141980, 6 Joliot-Curie street, Dubna,
Moscow region, Russian Federation

²⁾ Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O.O. Galkin, Kiev, Ukraine

³⁾ i3N/CENIMAT, Department of Materials Science, Faculty of Science and Technology,
New University of Lisbon and CEMOP/UNINOVA, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

⁴⁾ Institute of physics of mining processes of the national Academy of Sciences,
15 Simferopol street, 49005, Dnipro, Ukraine

⁵⁾ Dubna State University, 141982 19 Universitetskaya street, Dubna, Moscow region, Russian Federation

⁶⁾ U. A. Arifov Institute of ion-plasma and laser technologies of the Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan

⁷⁾ Lashkarev Institute of semiconductor physics. National Academy of Sciences of Ukraine,
41 Nauki Avenue, Kiev, Ukraine, 02000

The contact of homogeneous multi-dimensional hydrated nanoparticles of yttrium-stabilized zirconium oxide (YSZ) is studied using electrochemical impedance spectroscopy. 7.5 and 10 nm in size in the form of compacts obtained using high hydrostatic pressure. The nonlinear dependence of the electrical properties of the contact on the displacement potential is established

Key words: impedance spectroscopy; nanocomposite systems based on ZrO₂; adsorption; heterojunction.

ВВЕДЕНИЕ

Нанопорошковая система на основе ZrO₂ представляет значительный интерес для функциональных применений ввиду свойственных ей размерных эффектов адсорбционной природы. В частности, имеет место эффект локализации и транспорта носителей заряда на электроды [1, 2]. Адсорбция молекул воды приводит к изменению структуры энергетических зон наноразмерного кристалла, в частности, к образованию дополнительных примесных или компенсации собственных локализованных электронных состояний (уровни Тамма) в запрещенной зоне [3]. Это позволяет проводить управляемое изменение энергетических, оптических и электрических свойств поверхности наночастиц изменением влажности.

Сорбирующаяся, в большинстве своем, влага диссоциирует на поверхности ZrO₂ на протоны и ОН-группы, локализуясь преимущественно на ди- и трикоординированных мостиковых атомах кислорода [4, 5, 6] (энергия адсорбции 95±20 кДж/моль [7, 8]). Как ОН – группа, так и протон в свободном виде существуют очень короткое время. Они практически мгновенно соединяются с молекулярной водой, образуя гидраты типа H₃O⁺. Посредством гидратов в межчастичном пространстве осуществляется электропроводность, т.е., обеспечивается непрерывность электрических свойств [9–10]. В целом, дисперсную систему в виде уплотненных ZrO₂ - на-

ночастиц можно рассматривать как среду с электрическими свойствами, управляемо перестраиваемыми посредством адсорбционного процесса. На основе таких систем возможно получать не только датчики влажности [11], но и активные элементы – адсорбционные конденсаторы [12], тепло - и электрогенерирующие устройства [13]. Геометрия поверхности наночастиц приводит к существенной модификации таммовских состояний [14], и как следствие, электрических свойств системы. Крайне интересен с позиций практических применений контакт разноразмерных наночастиц. Целью данной работы является исследование электрических свойств такого контакта на переменном токе.

ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Исследуемый объект представлял собой контакт двух компактов из нанопорошков с размером частиц, соответственно, 7,5 и 10 нм. Компакты получали из порошков состава $ZrO_2 - 3 \text{ mol\%} Y_2O_3$ одноосным прессованием ($P_{\text{комп}} = 40 \text{ МПа}$) в виде таблеток диаметром 20 мм и высотой порядка 3.2–3.3 мм (навеска $m = 1.2 \text{ г}$) с последующим уплотнением высоким гидростатическим давлением (ВГД, 300 МПа) в установке типа УВД-2. После ВГД диаметр компактов в среднем уменьшался до 16 мм, а высота – до 2 мм.

Для получения нанопорошков использовалась химическая технология совместного осаждения с применением физических воздействий. Сначала методом совместного осаждения из хлоридного сырья получали оводненный гидроксид циркония. После обезвоживания в специализированной СВЧ – печи ($T = 120^\circ \text{C}$, $t = 0.4 \text{ ч}$) аморфный порошок подвергался кристаллизационному отжигу в печи конвекционного нагрева при температурах 400°C (частицы 7,5 нм) и 500°C (частицы 10 нм) в течение 2 ч.

Камера образца представляла собой закрытую емкость объемом 350 мл с контролируемой при помощи солей KCl, NaCl и NaBr [15], влажностью атмосферы.

Электрические свойства контакта на переменном токе исследовались методами спектроскопии электрохимического импеданса (СЭИ) на приборе Z-1500 (Элинс, РФ) при влажности 86, 76 и 60%. Времена насыщения на каждой точке составляло 2 часа. Положительный электрод располагался на таблетке из порошка с меньшим размером наночастиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены годографы импеданса исследуемого гетероперехода, полученные методом СЭИ при различных напряжениях смещения и влажности 76%. Можно видеть, что форма кривых существенно зависит от величины и полярности напряжения смещения. На всех кривых можно выделить три основных участка (показано на рис. 1, а): частотнезависимый участок в левой части спектра (1) полукруг, соответствующий емкостному импедансу (2) и луч в правой части спектра, соответствующий диффузионному импедансу (3). Частотнезависимый участок 1 с большой вероятностью отражает процесс, аналогичный тому, что отражает полукруг 2 с близкими временными параметрами и возник в результате их (полукругов) наложения. Можно видеть, что отрицательные смещения (рис. 1, а) приводят к монотонному уменьшению диффузионной составляющей импеданса (луч под углом 45° градусов к ОХ) без изменения механизма электропроводности. По мере увеличения разности потенциалов на электродах минимум на кривой (рис. 1а) приближается к оси абсцисс и смещается в область низких сопротивлений (с 50 до 40 кОм), что свиде-

тельствует об уменьшении полного импеданса объекта. При положительном смещении (рис. 1, б) по мере увеличения разности потенциалов полукруг емкостного импеданса масштабируется в область высоких сопротивлений, а луч диффузионного импеданса 3 вырождается в горизонтальную прямую.

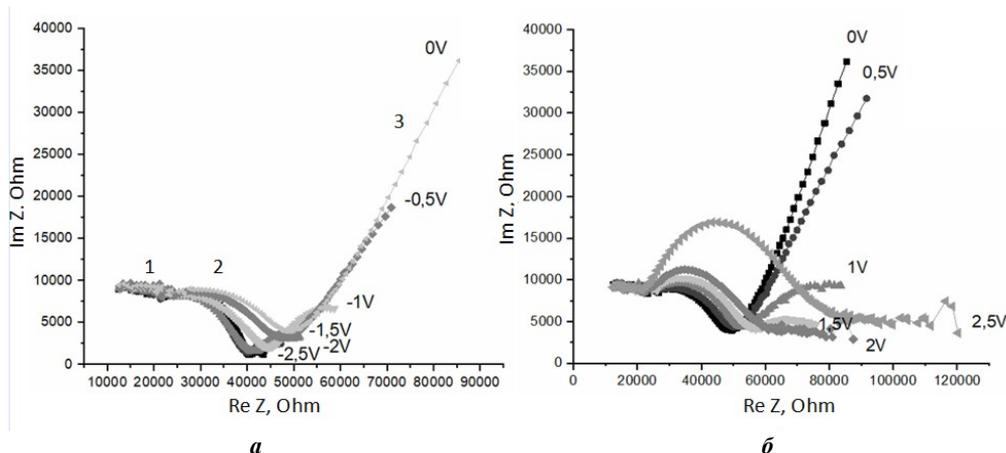


Рисунок 1. – Семейства годографов импеданса исследуемого гетероперехода, полученных методом СЭИ при влажности 76% при отрицательных (а), и положительных (б) напряжениях смещения

Т.е., в отличие от случая с отрицательным смещением, при положительном смещении по мере увеличения разности потенциалов увеличивается вклад активной составляющей полного импеданса и величина его абсолютного значения. Таким образом, исследованный контакт имеет нелинейные свойства и обладает чувствительностью к полярности и амплитуде прикладываемого напряжения.

The study was performed in the scope of the H2020/MSCA/RISE/SSHARE number 871284 and the RO-JINR Projects No. 267/2020 item 25 and No. 268/2020 item 57 and No. 268/2020 item 51.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Nonequilibrium chemo-electronic conversion of water on the nanosized YSZ: experiment and Molecular Dynamics modelling problem formulation / A. S. Doroshkevich [et al.] // IOP Conf. Series: J.of Phys: Conf. Series 848 –2017–P. 1–9.
2. Chemical-Electric Energy Conversion Effect in Zirconia Nanopowder Systems / A. S. Doroshkevich [et al.] // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques– 2017 – V. 11, №3 – P. 523–529.
3. Contribution to the Theory of the Surface Electronic States in the One-Electron Approximation / Koutecky J. // Phys. Rev – 1957 – V. 10, №1 – P. 13–22.
4. Оксиды с примесной разупорядоченностью / Стрекаловский В.Н.– М.: Наука–1987. – 156 с.
5. Блюменталь У. Б. Химия циркония / Л. Н Комиссарова., В.И. Спицына– М.: Изд-во ин лит., 1963. – 345 с.
6. Компьютерное моделирование адсорции молекул воды на поверхности кристаллических оксидов титана, олова, циркония и гафния / Р,А Эварестов., А.В Бандура. //Рос.хим. ж., 2007. – Т.11, №5.– С.150–158.
7. Solid State Ionics / Raz S [et al.]// 2001, V. 143, p. 181.
8. Hofmann A., Sauer J. J.Phys. Shem. B, 2004, v.108, p. 14652.
9. Б.В. Мартыненко Кислоты и основания. / М.: Просвещение. 1985 – 159 с.

10. Impedance Spectroscopy of Concentrated Zirconia Nanopowder Dispersed Systems Experimental Technique / O. S. Doroshkevych [et al.] // World Journal of Condensed Matter Physics. – 2012. – №2. – P.1–9.
11. The effect of percolation electrical properties in hydrated nanocomposite systems based on polymer sodium alginate with a filler in the form nanoparticles $ZrO_2 - 3\text{mol}\% Y_2O_3$ / E.A. Gridina[et al.]. // Adv. Phys. Res. 2019 – V.1, №2, – P.70–80.
12. Роспатент №2019135580 (070225) «Твердотельный конденсатор-ионистор с диэлектрическим слоем из нанопорошка диэлектрика» Авторы Дорошкевич А.С., Шило А.В., Зеленьяк Т.Ю., Константинова Т.Е., Любчик А.В., Татарина А.А., Гридина Е.А., Дорошкевич Н.В. Владелец патента: ОИЯИ.
13. Direct transformation of the energy of adsorption of water molecules in electricity on the surface of zirconia nanoparticles / A.S. Doroshkevich [et al.]. // Applied Nanoscience. –V.9, №8 – P.1603–1609.
14. Аскарлов Б., Вохидова Н., Оксенгендлер Б.Л. и др. // Узб. хим. журн. 2016. Т. 1. С. 32.
15. Относительная влажность воздуха над насыщенными растворами / А.Г.Терещенко – Томск, 2010. – 22 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЛЕШ-ПАМЯТИ

О. Г. Жевняк, Я. О. Жевняк

*Белорусский государственный университет, ул. Курчатова, 5, 220064, Минск, Беларусь,
e-mail: Zhevnyakol@tut.by*

Надёжная работа элементов флеш-памяти ограничена деградацией его характеристик, прежде всего, уменьшением подвижности электронов и наличием паразитных токов. В данной работе проведено численное моделирование электронного переноса в элементах флеш-памяти на основе МОП-транзисторов с плавающим затвором для разных режимов считывания информации. Рассчитаны значения паразитных токов и построены двумерные распределения величины подвижности электронов. Показано, что минимальное значение подвижности наблюдается в области вблизи поверхности раздела Si/SiO₂, откуда и формируется паразитный туннельный ток.

Ключевые слова: флеш-память; МОП-транзистор; электронный перенос; подвижность.

SIMULATION OF TWO-DIMENSIONAL DISTRIBUTIONS OF ELECTRON MOBILITY IN FLASH-MEMORY CELLS

O. G. Zhevnyak, Ya. O. Zhevnyak

*Belarusian State University, Kurchatova str. 5, 220064 Minsk, Belarus,
Corresponding author: O. G. Zhevnyak (Zhevnyakol@tut.by)*

Reliable operation of flash-memory cells are limited by degradation of some characteristics, primarily electron mobility lowering and parasitic current growth. In present work the electron transport in flash-memory cells based on MOS-transistors with floating gate has been simulated. The values of parasitic current as well as two-dimensional distributions of electron mobility have been calculated. It is shown that minimal value of mobility takes place at Si/SiO₂ border.

Key words: flash-memory; MOS-transistor; electron transport; mobility.