

1. Zvezdin A. K., Kotov V. A. Modern Magnetooptics and Magneto-optical Materials. New York: Taylor and Francis, 1997. 404 p.
2. Belotelov V. I., Akimov I. A., Pohl M. [et al.] // Nature Nanotechnology. 2011. 370. 6.
3. Bespalov V., Golikova O. L., Savin S. S. [et al.] // Inorganic Materials. 2012. 1190. 48 (12).
4. Chekhov A. L., Krutyanskiy V. L., Ketsko V.A. [et al.] // Optical Materials Express. 2015. 1647. 5.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОКСИДНЫХ НИОБИЕВЫХ НАНОСТОЛБИКОВ

А. Н. Плиговка, Г. Г. Горох

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь, e-mail: pligovka@bsuir.by*

Оксиды вентильных металлов нашли широкое применение в различных областях науки и техники. Особый интерес для изучения вызывают наноструктурированные оксиды [1–3]. Существуют разные методы наноструктурирования, одним из наиболее отработанных, экономичных и воспроизводимых является метод анодирования подслоев вентильных металлов через маску нанопористого анодного оксида алюминия (АОА). В последнее десятилетие ведется разностороннее изучение наноструктурированных оксидов вентильных металлов, проанодированных через маску АОА [1–3], в частности, оксида ниобия. Хотя ниобиевые наностолбики были впервые сформированы более десяти лет назад [3], исследование электрофизических характеристик таких наноструктур так и не было проведено.

В данной работе с помощью методов вакуумного напыления, электрохимического анодирования, фотолитографии и химического травления были сформированы металлоксидные ниобиевые наностолбики, исследованы их температурный коэффициент сопротивления (ТКС) и вольтамперная характеристика (ВАХ) при различных температурах.

Для проведения экспериментальных исследований в качестве исходных образцов использовали двухслойные системы Al/Nb, напыленные на Si-пластины. Толщина слоев Nb составляла ~150 нм, толщина слоев Al – ~1500 нм.

В качестве базового электролита для анодирования Al на подслое Nb был выбран 0,2 М водный раствор щавелевой кислоты [2–4]. Анодирование проводили в потенциостатическом режиме при напряжении 53 В. Для анодирования слоев Nb через поры АОА использовали 0,5 М водный раствор борной кислоты, анодирование проводили в гальваностатическом режиме до напряжения 100 В. Все анодные процессы осуществляли в специально разработанной электрохимической ячейке цилиндрического типа из фторопласта с токоподводом по кольцевому участку, который не подвергался воздействию электролита во время анодирования. В качестве катода применяли спиральный вольфрамовый электрод.

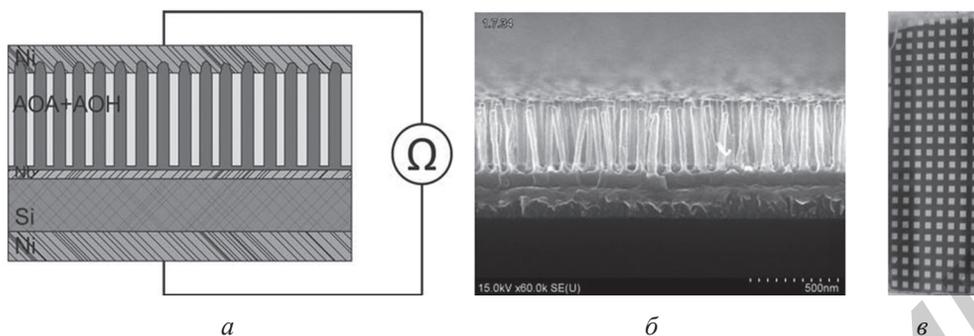


Рис. 1. Тестовые экспериментальные структуры для исследования электрофизических характеристик металлооксидных ниобиевых наностолбиков: *а* – МНМ и схема изменения; *б* – РЭМ изображение без АОА; *в* – Si-пластина с МНМ

Для исследования электрофизических характеристик металлооксидных ниобиевых наностолбиков формировали тестовые МНМ-структуры (металл-наностолбики-металл) (рис. 1). Нижнюю контактную площадку МНМ-структуры формировали предварительным напылением дополнительного слоя алюминия толщиной 1000 нм. Анодирование образцов проводили в следующей последовательности: сначала анодировали верхний слой алюминия, как описано выше, до получения пористого АОА, а затем через поры АОА анодировали подслой ниобия, в результате чего образовывались периодические наноразмерные диэлектрические неоднородности (островки), окруженные самоорганизованной тонкой металлической сеткой [1, 2]. Дальнейшее окисление пленки ниобия осуществляли с помощью анодирования до более высокого напряжения – 100 В, в результате чего подслоя ниобия преобразовывался в наноструктурную оксидную пленку, состоящую из двух частей: сплошного равномерного слоя оксида ниобия, расположенного под слоем пористого АОА, и наноразмерного столбикового оксида ниобия, расположенного в порах АОА [1, 3]. Затем на поверхность сформированной наноструктуры напыляли

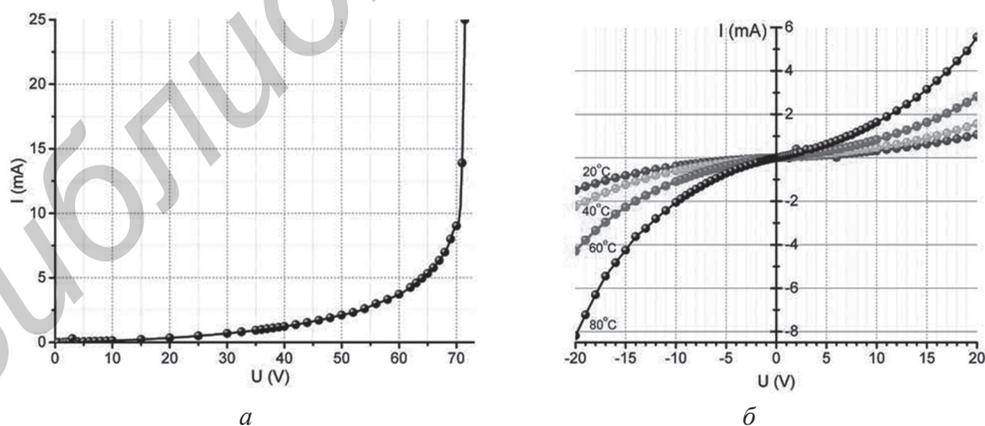


Рис. 2. ВАХ металлооксидных ниобиевых наностолбиков: *а* – ВАХ при повышенных напряжениях; *б* – ВАХ при различных температурах

слой алюминия толщиной 1000 нм и проводили формирование верхних контактных площадок размером 1×1 мм методом фотолитографии и химического травления алюминия (рис. 1, в). Удаление АОА проводили в 50 % водном растворе ортофосфорной кислоты при температуре 50 °С (рис. 1, б)

Полученные ВАХ при различных температурах имеют нелинейный характер, а ТКС – отрицательные значения, что говорит о полупроводниковой природе материала (рис. 2, а, б). Из чего следует, что основной проводящей частью в данной структуре является оксид ниобия, оксидные фазы которого могут вести себя как полупроводники, а не диэлектрики, в частности NbO₂. Следует отметить, что сформированные в порах АОА столбики оксида ниобия являются комплексным материалом, состоящим из оксидов с разной степенью окисления: Nb₂O₅, NbO₂, NbO и др. [3]. В результате измерений ТКС были получены значения порядка 1,5–2 % с отрицательным знаком.

В целом полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что металлооксидные ниобиевые наностолбики – это новый полупроводниковый наноструктурированный материал, экономичный и воспроизводимый в получении, обладающий хорошими перспективами для применения в нанoeлектронике и СВЧ-технике. Например, в качестве высокочувствительных термoeлементов [5] либо для формирования полупроводниковых нанoeлементов нового поколения.

1. Mozalev A. [et al.] // *Electrochimica Acta*. 2009. 935. 54.
2. Плиговка А. Н., Горох Г. Г. // *Наноструктуры в конденсированных средах: сб. науч. ст. / Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси. Минск. 2014. С. 310.*
3. Vázquez R. M. // *Sensors and Actuators. B Chemical*. 2014. 588. 204.
4. Плиговка А. Н., Горох Г. Г. // *Наноструктурированные оксидные пленки и покрытия: сб. науч. ст. Петрозаводск, 2014. С. 135.*
5. Koh J. [et al.] // *Sens. Actuators. A Phys.* 2016. 241. 60.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ФУНКЦИОНИРОВАННЫХ НАНОАЛМАЗОВ С ЦЕНТРОМ ОКРАСКИ ТИПА NV⁻

А. В. Лузанов¹, О. А. Жикол¹, И. В. Омельченко¹, А. П. Низовцев²,
С. Я. Килин², А. Л. Пушкарчук^{3,4}, В. А. Пушкарчук⁵

¹*Институт монокристаллов НАН Украины, Харьков, Украина*

²*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

³*Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

⁴*Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Беларусь*

⁵*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь*

Квантово-химическим методом AM1 проведено моделирование электронных свойств нанoалмазов с акцентом на ряд функционализированных структур, включающих азот-вакансионные центры окраски. Изучено два типа