

2. Eddington, R. I., Kenning, D. B. R. The effect of contact angle on bubble nucleation. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1979 vol. 22, no. 8, pp. 1231-1236.

3. Мелвин-Хьюз Э.А. Физическая химия. – Т.2, – М.: Издат иностр. Лит., 1962, – С.805-857.

УДК 544.6

А.Н. Плиговка, Г.Г. Горох
БГУИР, Минск

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТАНТАЛОВЫХ НАНОСЕТОК

В работе [1] представлены результаты формирования наноразмерных сеток из Ta, которые могут быть использованы для построения различных электронных приборов [2]. Идея состоит в том, чтобы с помощью методов электрохимического анодирования из единой системы двух тонкопленочных вентильных металлов – Al/Ta – синтезировать периодические, танталовые проводники, структурированные в наносетку с управляемыми свойствами.

В данной работе представлены результаты определения условий формирования танталовых наносеток с заданными геометрическими параметрами методом электрохимического анодирования.

На рисунке 1 представлены сканирующие электронные микроскопические (СЭМ) изображения поверхностей и сколов островково-сетчатых пленок с удаленным анодным оксидом алюминия (АОА) и толщинами подслоя тантала 12 нм, 16 нм и 22 нм при различных напряжениях реанодирования. Сформировать пленки с островково-сетчатой наноструктурой на подслое Ta меньшей толщины не удалось, – анодирование с последующим реанодированием подслоя Ta толщиной 8 нм приводило к обрыву токоподвода, что указывало на существование предельной толщины подслоя, на которой можно сформировать равномерное воспроизводимое покрытие. Для магнетронного метода напыления такая толщина Ta составляет 100 Å [3].

Из рисунка 1 видно, что при увеличении напряжения реанодирования увеличивается высота островка, – наибольшая 131 нм для толщины Ta 22 нм и максимального напряжения реанодирования 120 В. Такое поведение объясняется ростом энергии ионов кислорода O^{2-} в процессе увеличения напряжения реанодирования, что позволяет проникать ионам сквозь оксиды (пористый АОА, барьерный слой АОА, оксид Ta) и окислять подслои Ta, прибавляя высоту островку за счет повышенного коэффициента объемного роста, окисленного Ta. При уменьшении толщины подслоя конечная высота островка умень-

шается, островок разрастается преимущественно в диаметре за счет наличия вокруг неокисленного Ta. С повышением напряжения реанодирования толщина основания островка увеличивается, однако у более толстых подслоев это происходит медленнее за счет дополнительного роста островка в сторону подложки [4].

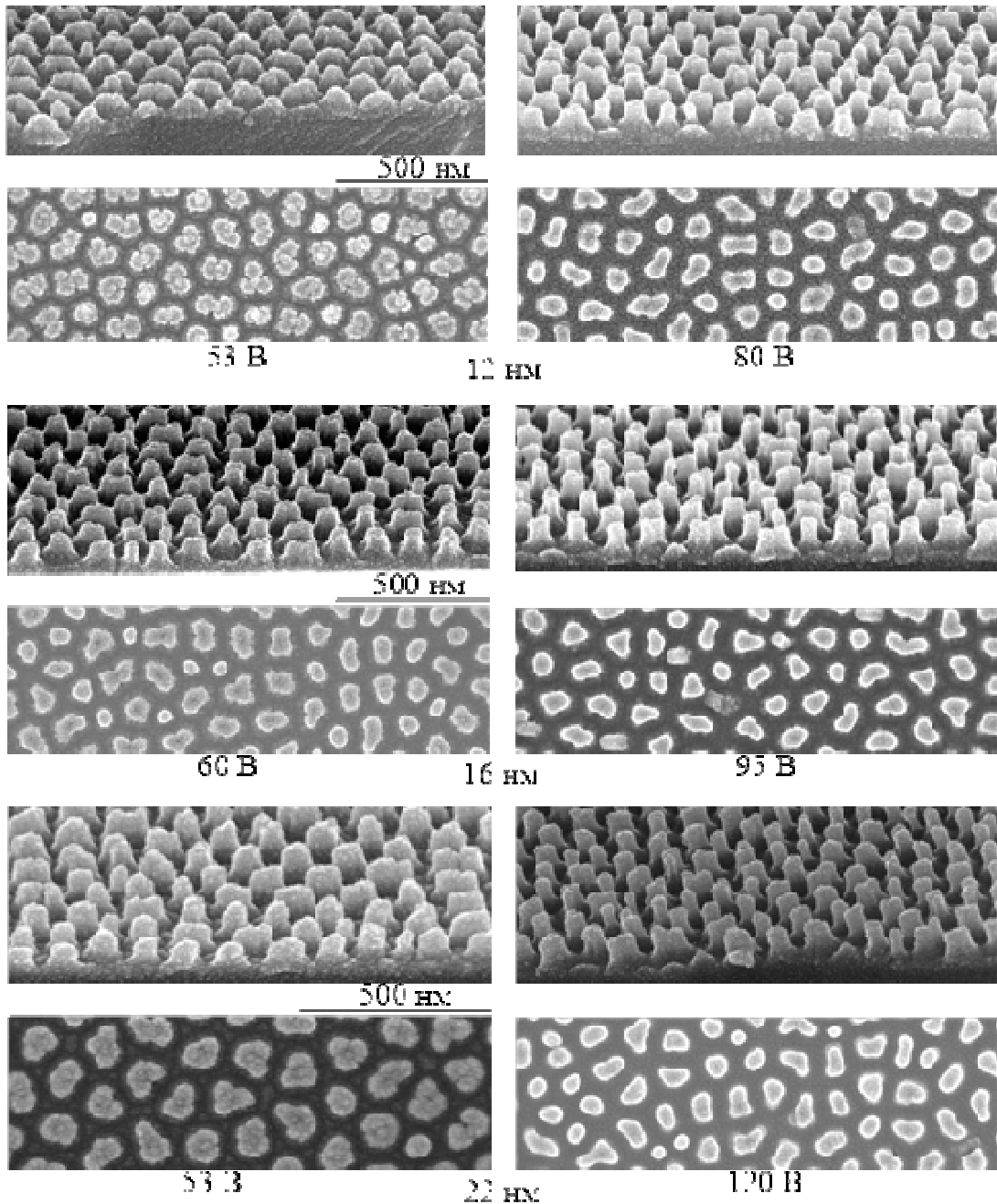


Рисунок 1 – Изображения сколов и поверхностей, полученные на сканирующем электронном микроскопе, пленок с островково-сетчатой наноструктурой на этапе (ре)анодирования при разных напряжениях для разных толщин подслоя Ta, сформированных в 0,2 М растворе щавелевой кислоты при напряжении 53 В

Схематическое изображение оксидных островков и наноразмерной Ta сетки на стадиях анодирования и реанодирования для разных толщин подслоя тантала представлено на рисунке 2. Как видно из рисунка 2, при толщине подслоя Ta 22 нм островок на стадии анодирования касается подложки, дальнейшее существенное увеличение на 5–10 нм толщины подслоя Ta не позволяет сформировать танталовую проводящую сетку анодированием, а последующее реанодирование приведет к срастанию островков в сплошной слой оксида Ta с последующим фронтальным поглощением оставшегося Ta в направлении к подложке.

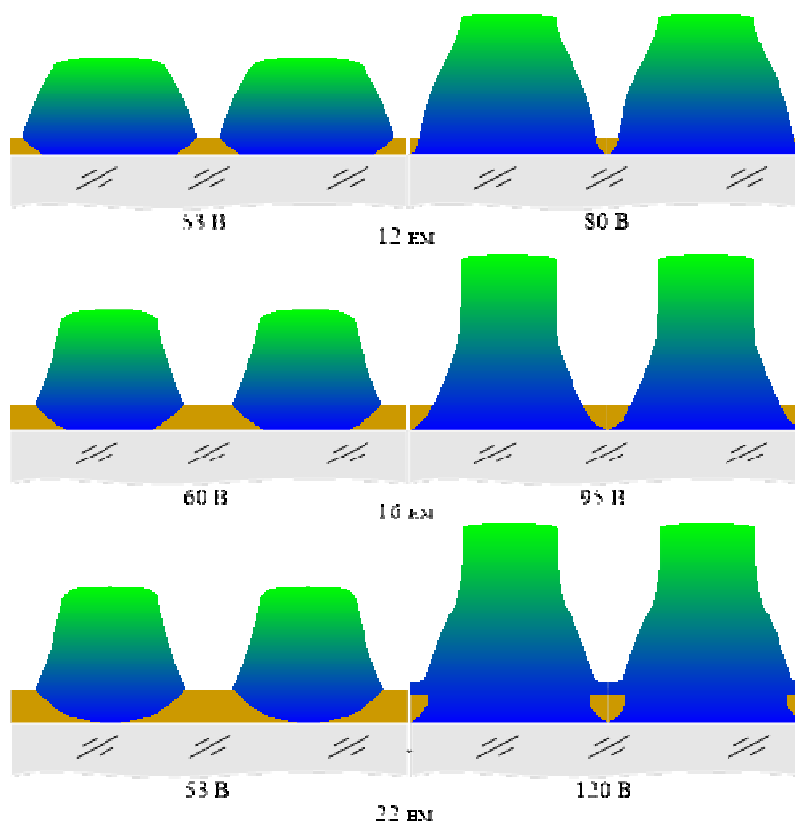


Рисунок 2 – Схематическое изображение сечений островково-сетчатой пленки на этапе (ре)анодирования двухслойной системы Al/Ta с разной толщиной подслоя Ta, сформированной в 0,2 М растворе щавелевой кислоты при напряжении 53 В

В работе показано, что для формирования металлооксидных пленок с островково-сетчатой наноструктурой в 0,2 М водном растворе щавелевой кислоты при напряжении формовки 53 В толщина подслоя Ta не должна превышать 22–26 нм. Таким образом, определяющим условием для формирования пленки с островково-сетчатой наноструктурой является толщина подслоя тантала, которая определяется исходя из морфологических параметров пористого АОА и условий

формирования. Для получения Ta проводящей сетки анодированием толщина подслоя Ta не должна превышать половину толщины ($h_{\text{БС}}$) барьерного слоя пористого АОА. Таким образом, определено граничное условие формирования пленок с островково-сетчатой наноструктурой:

$$10 \text{ нм} \leq h_{\text{Ta}} \leq \frac{h_{\text{БС}}}{2} = \frac{d_{\text{я}} - d_{\text{п}}}{4} = \frac{125 - 20}{4} \approx 26 \text{ нм}, \quad (1)$$

где $h_{\text{БС}}$ – толщина барьерного слоя АОА; h_{Ta} – толщина подслоя тантала, нм; $d_{\text{я}}$ – диаметр ячейки АОА, нм; $d_{\text{п}}$ – диаметр поры АОА, нм.

В случае нарушения условия (1) на этапе анодирования не происходит образования Ta наносетки, а дальнейшее реанодирование приводит к срастанию островков в один сплошной слой, в результате чего формируется пленка со столбиково-матричной наноструктурой [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сокол, В.А. Формирование структурированных нанослоев на основе анодных оксидов алюминия и тантала / В.А. Сокол, А.И. Воробьева, С.А. Уткина // Известия Белорусской инженерной академии. – 1998. – № 2 (6)/2. – С. 103–105.

2. Способ изготовления тонкопленочного резистора: заявка на пат. Респ. Беларусь, МПК7 Н 01С 17/075, С 25D 11/12 / А.М. Мозалев, А.Н. Плиговка; заявитель Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – № а 20110172; заявл. 11.02.2011.

3. Depla, D. Reactive Sputter Deposition / D. Depla, S. Mahieu. – Berlin: Springer, 2008. – 590 p.

4. Плиговка, А.Н. Тонкопленочные интегральные РС-элементы на основе островково-сетчатых и столбиково-матричных наноструктур / А.Н. Плиговка, Г.Г. Горох // Наноструктуры в конденсированных средах: сборник научных статей VII Международной конференции «Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах», Минск, 9–12 июня 2013 г. / Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси; редкол.: П.А. Витязь [и др.]. – Минск, 2013. – С. 103–112.

5. Growth of Multioxide Planar Film with the Nanoscale Inner Structure via Anodizing Al/Ta layers on Si / А.М. Mozalev, А.Ј. Smith, S. Borodin, А. Plihaika, А. W. Hassel, M. Sakairi, H. Takahashi // Electrochimica Acta. – 2009. – № 54. – P. 935–945.