

ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ

Б. А. Казаркин¹, А. А. Степанов¹, А. Г. Смирнов¹, В. В. Беляев², Д. Н. Чаусов²,
В. С. Безбородов³, А. А. Черник³, В. В. Жилинский³

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Московский областной государственный университет

³Белорусский государственный технологический университет

Технология формирования наноструктурированных пленок Al методом электрохимического анодирования позволяет формировать самоорганизующиеся гексагонально упакованные наноструктуры без использования литографических процессов [1-3]. Морфология формируемой пленки с характеристическими параметрами приведена на рисунке 1.

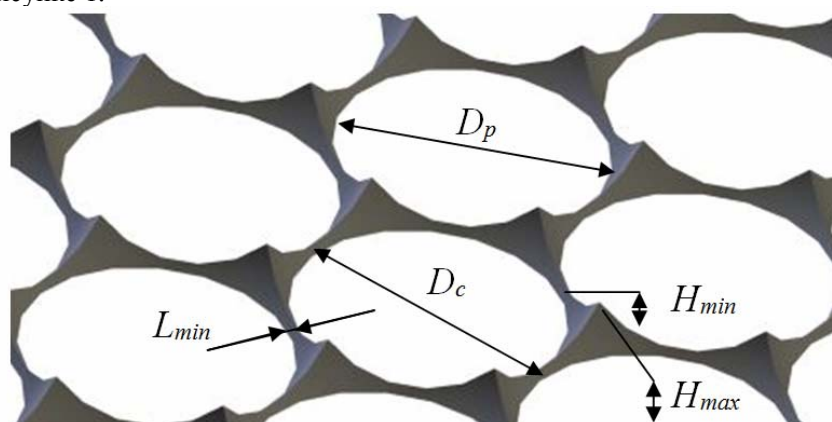


Рисунок 1. – Схематическое изображение морфологии алюминиевой наносетчатой пленки

Как видно из рисунка 1 к характеристическим параметрам наносетчатой алюминиевой пленки относятся диаметр пор D_p , максимальная толщина H_{max} , минимальная толщина H_{min} и ширина L_{min} алюминиевой сетки.

При завершении процесса анодирования алюминиевая пленка после селективного травления пористого оксида алюминия приобретает наносетчатую морфологию с различным коэффициентом заполнения f , который также характеризует наносетчатую пленку и определяется как отношение площади поры S_{Dp} к площади ячейки S_{Dc} .

Для выявления взаимосвязности между характеристическими параметрами наносетчатой алюминиевой пленки и временными режимами ее формирования нами задана ее морфология в виде расположенных в алюминиевой пленке полых полусфер с плотной гексагональной упаковкой, при этом толщина алюминиевой пленки равна радиусу полусферы. Данная модель является приближением структуры «пористый оксид алюминия – алюминий» в тот момент времени, когда барьерный слой касается подложки. Дальнейший процесс анодирования соответствует движению полусфер вниз при заданном их радиусе.

Анализ экспериментальных результатов позволяет выявить зависимость между размером ячейки D_c наносетчатой алюминиевой пленки и напряжением анодирова-

ния U . Так, если измерить и рассчитать средние размеры ячеек наносетчатых пленок алюминия и сопоставить их с соответствующими напряжениями в различных электролитах, то получится линейная зависимость, из которой следует, что размер ячеек D_c наносетчатых алюминиевых пленок прямо пропорционален приложенному напряжению $D_c = 2,5 U$. Другими словами, используя пропорциональную зависимость размера ячейки от напряжения анодирования, можно управлять морфологией наноструктуры.

Основываясь на предположении, что в основании элементарной ячейки наносетчатой алюминиевой пленки лежит правильный шестиугольник со стороной, равной толщине барьерного слоя пористого оксида алюминия, можно утверждать, что R_b в данном случае является радиусом описанной вокруг ячейки окружности и имеет место соотношение $D_c = 3R_b$. (Рисунок 2а).

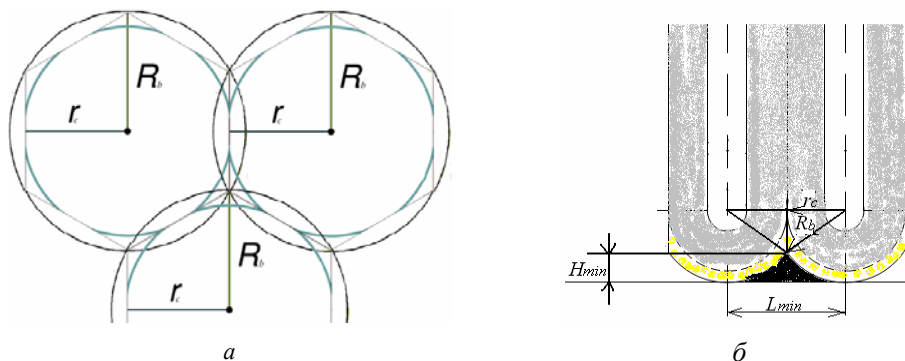


Рисунок 2. – Схематическое изображение элементарной ячейки алюминиевой наносетчатой структуры (а – вид сверху, б – поперечное сечение)

Диаметр поры D_p будет увеличиваться по мере увеличения площади касания подложки барьерным слоем пористого оксида, зависящей от времени анодирования t . Тогда D_p можно рассчитать по формуле:

$$D_p(t) = 2 \sqrt{\frac{1}{3} D_c^2 - \left(\frac{1}{\sqrt{3}} D_c - \Delta r(t) \right)^2},$$

где $\Delta r = vt$ – смещение вниз барьерного слоя со скоростью v за промежуток времени t от момента касания подложки.

Очевидно, что максимальное значение диаметра поры равно размеру ячейки и достигается в момент разрыва алюминиевой сетки при $\Delta r_{max} = H_{min0}$, в этот же момент времени прекращается процесс анодирования.

Ширина алюминиевой сетки в самом узком месте L_{min} определяется по формуле:

$$L_{min}(t) = D_c - D_p(t).$$

Зависимость коэффициента заполнения f от времени формирования определяется как:

$$f = \frac{S_p(t)}{S_c} = \frac{\pi D_p^2(t)}{2\sqrt{3} D_c^2} = \frac{4\pi \left(\frac{1}{3} D_c^2 - \left(\frac{1}{\sqrt{3}} D_c - vt \right)^2 \right)}{2\sqrt{3} D_c^2} = \frac{2\pi \left(\frac{2}{\sqrt{3}} D_c vt - v^2 t^2 \right)}{\sqrt{3} D_c^2}.$$

Как следует из полученного выражения, максимальное значение коэффициента заполнения может достигать 0,9 при $D_p = D_c$.

Нами экспериментально установлено, что скорость анодирования алюминиевой пленки V равна 0,6 мкм/с при плотности тока 2 мА/см². С учетом этого можно оценить время формирования алюминиевой наносетки с заданным коэффициентом заполнения f для размеров ячеек 50, 100, 200 и 600 нм соответственно (рисунок 3).

Таким образом, теоретически и экспериментально обоснована возможность формирования самоорганизующихся наносетчатых алюминиевых пленок с размерами ячеек D_c 50–600 нм методом управляемого низкотемпературного процесса электрохимического анодирования тонких пленок алюминия.

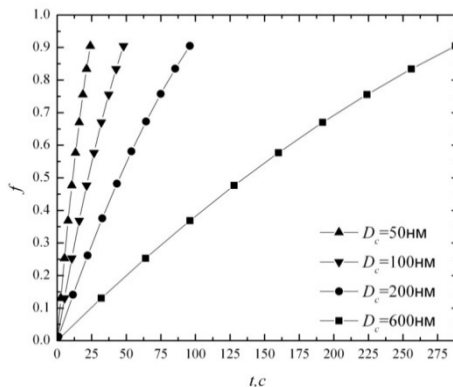


Рисунок 3. – Зависимость между коэффициентом заполнения f и временем формирования алюминиевых наносетчатых пленок с различными размерами ячеек

ЛИТЕРАТУРА

1. Towards understanding the difference of optoelectronic performance between micro- and nanoscale metallic layers / M.Marus [et al.]; Optical Materials Express, vol. 6, No 8, 1 August 2016, p. 2655–2661.
2. Influence of microscale and nanoscale size effects on optoelectronic properties of metallic patterned structures / M.Marus [et al.]; Proc. the 7th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics META'16, Malaga, Spain, July 2016, p. 1634–1637.
3. Патент на изобретение № 19945 «Слоистая наноразмерная ячеистая структура и способ ее получения» по заявке № а 20120693 Респ. Беларусь, МПК В 32 В 15/04, G 02 F 1/133, В 81 С 1/00 / А.Г. Смирнов [и др.] ; Заявитель - УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»; заявл. 03.05.2012, зарегистрирована 07.12.2015. Оpubл. 30.04.16 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 2. – С. 81.

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОЛЕКУЛ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА С НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ РЕЛЬЕФНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Б. А. Казаркин¹, А. А. Степанов¹, А. Г. Смирнов¹, В. В. Беляев²,
Д. Н. Чаусов², А. К. Дадиванян²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Московский областной государственный университет

Возможность ориентации молекул жидких кристаллов (ЖК) на подложках с рельефной поверхностью была продемонстрирована в работах [1, 2]. В качестве такой поверхности можно использовать алюминиевые покрытия, подвергнутые анодному процессу окисления и формированию нанопористой структуры оксида алюминия. Тип ориентации молекул ЖК зависит от их размера и энергии сцепления с нанопористой поверхностью [3, 4].