

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СЕГМЕНТНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Н.В. Богомазова¹, В.В. Жилинский¹, А.А. Черник¹,
А.В. Смирнов², В.С. Безбородов¹, И.М. Жарский¹

¹Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь, zhilinski@yandex.ru

²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь

Исследованы особенности формирования сегментных электропроводящих алюминиевых наноструктур для жидкокристаллических устройств при электрохимическом окислении металлических пленок в электролитах щавелевой кислоты при температурах 20–50 °С и напряжениях 20–50 В. Предложена феноменологическая модель сквозного анодирования алюминиевых пленок, предполагающая протекание процессов разрастания пор в анодном оксидном слое в условиях локального разогрева истонченного алюминиевого проводника на поверхности стеклянной подложки. Показано, что для получения электропроводящих сегментных алюминиевых наноструктур более благоприятны низкотемпературные режимы анодирования при повышенной концентрации щавелевой кислоты.

Развитие технологии производства жидкокристаллических (ЖК) устройств реализуется в рамках ряда ведущих мировых корпораций (Samsung, LG, Sony, Toshiba, Panasonic, Philips и др.) [1–3]. В Республике Беларусь на базе ОАО «Интеграл» освоена технология создания жидкокристаллических индикаторов, в которых формирование изображения происходит благодаря управляемой ориентации молекул жидкокристаллического материала (ЖКМ) на стеклопластинах, покрытых сегментным прозрачным электропроводящим покрытием из смешанного оксида индия – олова и профилированного ориентирующего полимерного слоя. Такие структуры обеспечивают высокую од-

нородность и четкость изображения, а также длительный срок службы прибора.

Следует отметить, что оксид индия является редким и дорогостоящим материалом, а объемы его использования с каждым днем существенно возрастают. Например, общая площадь произведенных ЖК мониторов в 2013 г., составляла более 200 кв. км и постоянно увеличивается. При дальнейшем росте производства неизбежно возникает вопрос о замене дефицитного In_2O_3 [2].

В связи с этим в настоящее время ведется активный поиск альтернативных материалов, которые смогли бы заменить оксид индия-олова без ухудшения основных показателей по оптическому пропусканию и электропроводности. Для этих целей исследуются углеродные нанотрубки, графен, полупроводниковые оксиды, электропроводящие полимеры, серебряные нанопроволоки, медные, серебряные сетки, галогениды серебра и др. [3].

Одним из таких перспективных материалов является упорядоченная сетчатая наноразмерная структура на основе алюминия [4]. Данная структура формируется с использованием существующей промышленной технологии электрохимического анодирования алюминия, в результате которого происходит самоорганизованный рост структурноупорядоченного пористого оксида алюминия, представляющего собой закономерно расположенные вертикальные поры, обрамленные шестигранными стенками оксида алюминия. Важным преимуществом такой технологии является возможность прецизионного управления параметрами формируемой пористой структуры, а именно диаметром пор и размерами оксидной ячейки [4].

Целью настоящей работы являлось исследование методов формирования прозрачных электропроводящих структур на основе сегментных алюминиевых наноструктур для производства ЖК устройств.

Наши исследования являлись продолжением работы [4] по изучению особенностей формирования упорядоченной сетчатой структуры алюминия при его электрохимическом окислении в электролитах на основе щавелевой кислоты.

Образцами являлись стеклянные подложки с напыленным слоем алюминия толщиной 50 нм или 1 мкм. Исследования включали получение алюминиевых структур при анодировании алюминиевых пленок в растворе щавелевой кислоты с концентрацией от 0,3 до 1,7 моль/л при температуре от 20 до 60 °С и напряжении от 20 до 50 В (см. таблицу). Анодирование образцов осуществлялось при постоянном напряжении. При протекании процесса формирования анодного оксида алюминия на пластинах производилась цифровая регистрация хроноамперограмм с помощью мультиметра АРРА 107.

Параметры анодированных алюминиевых пленок толщиной 50 нм

Номер образца	Концентрация (СООН) ₂ , моль/л	Ток, мА макс/мин	Продолжительность, с	Сопротивление, Ом
1	1,7	80/4,5	120	∞
2	1,7	30/10	35	∞
3	1,7	320/20	180	∞
4	1,7	180/-	20	2430
5	1,7	200/-	30	2100
6	0,6	150/6	80	40
7	0,3	150/10	30	600
8	0,6	150/-	20	630

Объектом исследования являлось профилированное сегментное алюминиевое покрытие, образующееся после химического удаления пористого оксида, сформированного при анодировании алюминиевой пленки на стеклянной пластине. При этом достаточная поверхностная электропроводность металлической структуры обеспечивается благодаря хорошим проводящим свойствам алюминия. Уровень оптического пропускания такой наноструктуры связан с характером упорядочения островных алюминиевых элементов.

Для образцов с толщиной алюминиевой пленки 50 нм наблюдался большой разброс значений поверхностного сопротивления в проведенной серии опытов. Такие результаты указывают на то, что начальная толщина алюминиевой пленки 50 нм являлась недостаточной для реализации управляемого синтеза электропроводящих алюминиевых наноструктур.

На хроноамперограммах (рис. 1) во всех случаях в начале процесса анодирования наблюдалось увеличение силы тока до значений порядка 0,1–0,5 А. Далее фиксировался спад тока, обусловленный ограничениями электропереноса в результате образования диэлектрического оксида алюминия на поверхности электрода. Стационарное значение токов устанавливалось на уровне 0,01 А, что соответствует процессу наращивания оксидного слоя. Из хроноамперограмм видно, что увеличение температуры ведет к ускорению процесса формирования пористого оксида алюминия.

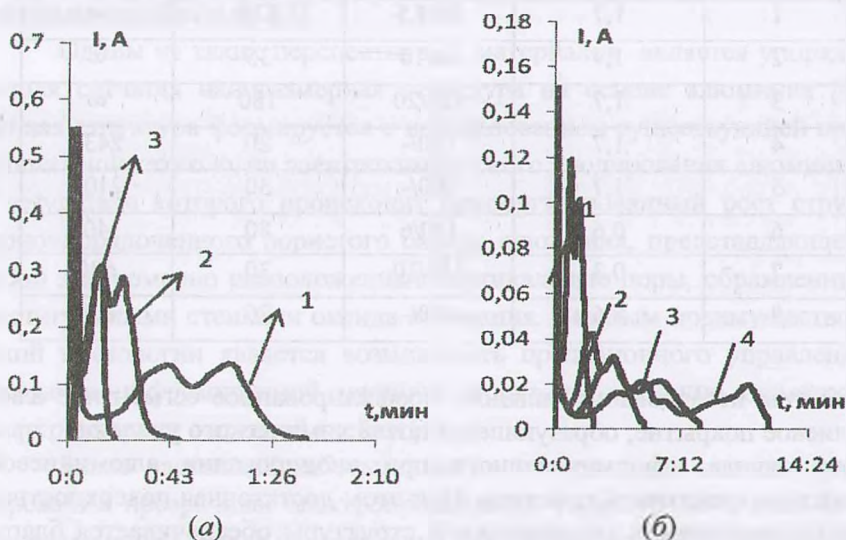


Рис. 1. Хроноамперограммы анодирования алюминиевых пленок толщиной 1 мкм при увеличении температуры (а): 1–35, 2–45, 3–50 °С; при концентрации щавелевой кислоты (б): 1–1,7 М; 2–0,6 М; 3–0,3 М; 4–0,15 М

Аналогично влияет на процесс анодирования увеличение концентрации щавелевой кислоты. По нашему мнению, наличие второго максимума на хроноамперограммах анодирования пленочных алюминиевых образцов (рис. 1) может быть связано с интенсификацией процессов разрастания пор в анодном оксиде в условиях локального разогрева истонченного алюминиевого проводника на поверхности стеклянной подложки.

На рис. 2 представлена зависимость, отражающая влияние температуры электролита на количество электричества, пропущенное через образец, которое было рассчитано по площади, заключенной под соответствующими амперограммами. Количество электричества, затраченного на электрохимическое окисление алюминиевого слоя, уменьшается с увеличением температуры электролита, что наиболее вероятно связано с увеличением скорости химического растворения алюминия в порах оксида.

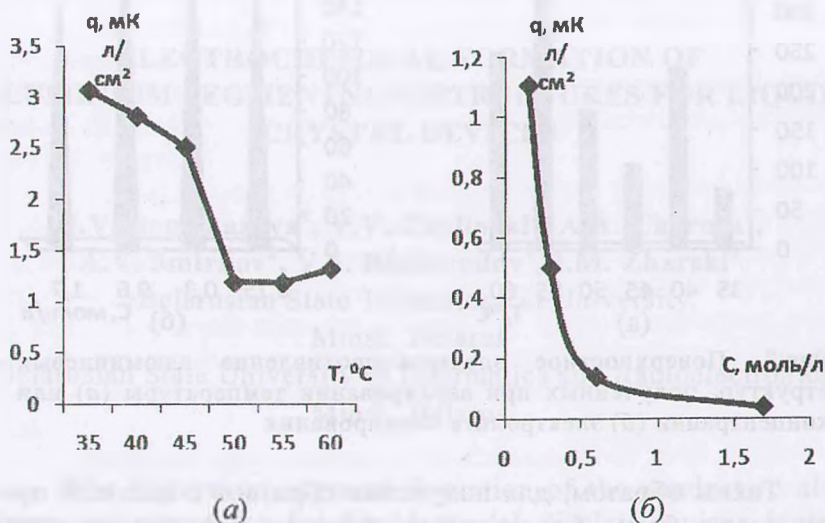


Рис. 2. Зависимость удельного количества электричества, потраченного на анодирование алюминиевого слоя, от температуры в 0,3 М щавелевой кислоты (а) и концентрации при 40 °С (б)

Полученные данные указывают на тенденцию роста поверхностного сопротивления структур при увеличении температуры и концентрации электролита (рис 3). Наименьшие значения поверхностного сопротивления порядка 70 Ом получены при температуре 35 °С. Такая особенность, возможно, связана с активацией процесса растворения оксида при увеличении диаметра образующихся пор и с уменьшением толщины проводящих перемычек между островными сегментами упорядоченной алюминиевой структуры. В целом зависимости поверхностного сопротивления от параметров анодирования носили немонотонный характер.

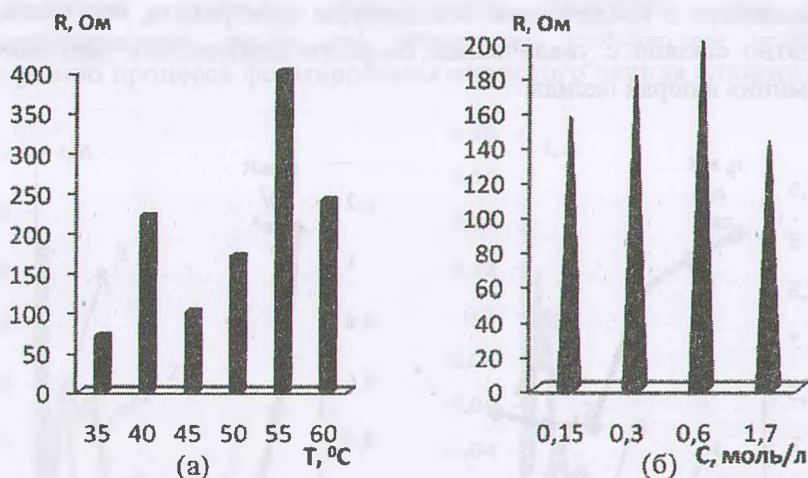


Рис.3. Поверхностное электросопротивление алюминиевых структур, полученных при варьировании температуры (а) или концентрации (б) электролита анодирования

Таким образом, для получения образцов с высокой проводимостью более благоприятны режимы анодирования при повышенной концентрации щавелевой кислоты 1,7 моль/л и температуре 35 – 45 °С.

Литература

1. Hong C., Tang T., Fang W. Liquid crystal alignment in nanoporous anodic aluminum oxide layer for LCD panel applications // *Nanotechnology*. 2010. No. 10. Pp. 301–306.
2. Васильев П.Я., Каманина Н. В. Перспективы использования прозрачных проводящих покрытий с фуллеренами и нанотрубками для дисплейных элементов нового поколения // *Письма в ЖФХ*. 2007. Т. 33, вып. 18. С. 8 – 13.
3. Коншина Е.А. Методы получения и свойства слоев на основе аморфного углерода, ориентирующих жидкие кристаллы // *Оптический журнал*. 2011. Т. 78, № 3. С. 72 – 83.
4. Smirnov A. [et al]. Self-organized nanostructured anodic oxides for display applications // *Semiconductor Physics, Quantum Electronica and Optoelectronics*. 2010. Vol. 13, No. 3. Pp. 305 – 308.

ELECTROCHEMICAL FORMATION OF ALUMINIUM SEGMENTNANOSTRUCTURES FOR LIQUID CRYSTAL DEVICES

N.V. Bogomazova¹, V.V. Zhyliniski¹, A.A. Chernik¹,
A.V. Smirnov², V.S. Bezbodrov¹, I.M. Zharski¹

¹ Belarusian State Technological University,
Minsk, Belarus

² Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Belarus

The features of segment formation of the conductive aluminum nanostructures for liquid crystal display devices in the electrochemical oxidation of metal films have been investigated in electrolytes of oxalic acid at temperatures of 20 – 50 °C and voltages of 20 – 50 V. A phenomenological model of the anodization through aluminum films, which is suggesting the existence of ex-

pansion poreprocesses into anode oxide layer at local heating of thinned aluminum conductor on the glasssurface, has been supported. It has been shown that the low-temperature regimes anodizing at high concentration of oxalic acidare more favorablefor the produce of electrically conductive segments with aluminum nanostructures.

