

Таким образом, проведенные исследования показали, что электрохимическое анодирование алюминия в кислотных электролитах с успехом может быть использовано для получения электропроводящих структурированных (упорядоченных) слоев алюминия, которые могут найти применение при производстве жидкокристаллических устройств. При этом, меняя состав электролита и температурные режимы анодирования, можно контролировать размер пор и их упорядоченность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tony Fu-Lai Yu, 5 Technological catching-up in East Asia / Tony Fu-Lai Yu, Yuen Wai-Kee, Diana S. Kwan // International Economic Development: Leading Issues and Challenges. – 2014.

2. Smirnov, A. Self-organized nanostructured anodic oxides for display applications / A. Smirnov, P. Jaguiro, A. Stsiapanau, Y. Mukha // Semiconductor Physics, Quantum Electronic and Optoelectronics. – 2010. – Vol.13, №3 – P.305-308.

3. Ресурсосберегающий метод формирования ориентирующих структур для жидкокристаллических приборов / Богомазова Н.В., Жилинский В.В., Черник А.А., Волынец О.С. Безбородов В.С., Жарский И.М. // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26-28 ноября 2014 г.: в 2 ч. – Минск : БГТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 241–245.

4. Design and application of anisotropic nanostructured conductive and alignment coatings / A. Chernik, V. Zhylynski, I. Zharski, V. Bezborodov, S. Mikhalyonok, A. Smirnov, A. Stsiapanau, I. // 25th International Liquid Crystal Conference. - Dublin. - 2014. - P1. - P.125.

УДК 53

В.В. Жилинский, канд. хим. наук, доц.;  
А.А. Черник, канд. хим. наук, доц.; В.С. Безбородов, д-р хим. наук;  
С.Г. Михаленок, канд. хим. наук, доц.;  
Н.М. Кузьменок, канд. хим. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)  
Г.В. Козак, директор; С.В. Данилович, зам. директора  
(УП «Дисплей», г. Минск)

#### **АНИЗОТРОПНЫЕ ДОБАВКИ И ФОРМИРОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

Промышленное производство устройств отображения информации на жидких кристаллах (ЖК) с ежегодным объемом выпуска в сот-

ни миллионов штук (активно-матричные дисплеи для телевизионной и компьютерной техники, мобильные телефоны и др.) основано на использовании прозрачного проводящего оксида  $\text{In}_2\text{O}_3$ , легированного оловом или цинком, с оптическим пропусканием на уровне 80 – 85% и поверхностным сопротивлением менее 50 Ом/□ [1, 2]. Однако, разведанные мировые запасы исходных материалов, прежде всего индия, весьма ограничены и в ближайшие несколько лет промышленность может столкнуться с их существенным дефицитом.

Одним из альтернативных электропроводящих материалов для таких устройств является высокоупорядоченная сетчатая наноразмерная структура на основе алюминия. Такая структура может быть сформирована с использованием технологии самоорга-низованного роста пористого анодного оксида алюминия (АОА) и последующего его травления [3]. Уровень оптического пропускания такой структуры напрямую зависит от степени упорядочивания алюминиевых элементов.

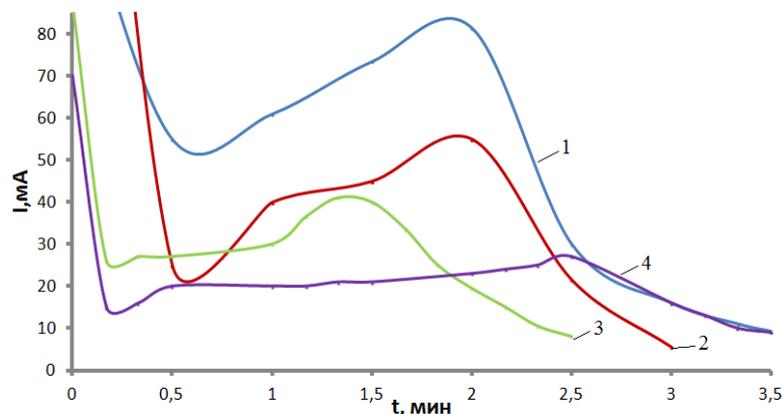
Целью данной работы являлось исследование процесса электрохимического формирования и роста структурно-ориентированного пористого оксида алюминия в присутствии анизотропных добавок и поверхностно-активных веществ. Нанопористый оксид алюминия формировали в щавелевокислом электролите с добавлением анизотропных добавок – структурообразователей. В качестве структурообразователей использовали анизотропные соли аммония: хлориды 3-(4-гексил-фенил)-N,N-диметил-3-оксопропанаммония (A1) и 3-(4-метокси-фенил)-N,N-диметил-3-оксопропанаммония (A2), триметилдодecil-аммоний бромид (A3) и диметилбензилдодecilаммоний бромид (A4) в количестве от 0,1 г/л до 0,7 г/л. Катодом являлась нержавеющая сталь.

Образцы представляли собой стеклянную подложку со слоем алюминия толщиной 1 мкм, нанесенного методом вакуумного напыления. Размеры подложек 20 x 10 мм. На подложку наносился слой химически стойкого лака, который отделял непосредственную поверхность анодирования и место фиксации пластины.

Для получения анодированных образцов применяли источник постоянного тока марки МНИПИ Б5-78/7. Для контроля значения температуры 17 использовали магнитную мешалку с подогревом DRAGONLAB MS7-H550-Pro. Цифровая регистрация хроноамперограмм производилась с помощью мультиметра АРРА 107. Микрофотографии поверхности анодированного алюминия выполнены на приборе AFFRI-MVDM8 при увеличениях x400. Морфологию покрытия исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа

JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 JEOL (Япония). Измерения оптического пропускания образцов проводились с использованием спектрофотометра СФ-26.

Хроноамперограммы анодирования алюминия приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Хроноамперограммы анодирования алюминия при  $U=50$  В в 0,5 М щавелевой кислоты с добавлением структурообразователей: 1 – А1; 2 – А2; 3 – А3; 4 – А4**

Проведенные исследования показали, что с увеличением толщины барьерного слоя АОА растет температура электролита в приэлектродном слое, что способствует повышению растворимости оксидной пленки и увеличению тока. Наличие второго максимума на хроноамперограммах связано с интенсификацией процессов разрастания в порах АОА в условиях локального разогрева истонченного алюминиевого проводника. Замедление процесса анодирования в присутствии А1 и А2, по-видимому, обусловлено физической блокировкой поверхности алюминия молекулами. Анизотропные добавки А1 и А2 являются амфифильными и при достижении своей критической концентрации мицеллообразования на поверхности пленки формируются мицеллы, определяющие размер пор в матрице АОА.

Оценка размеров сквозных пор осуществлялось посредством измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур проводник-диэлектрик-электролит (ПДЭ) при прямом и обратном смещениях в диапазоне напряжений от 0,5 до 9 В с шагом 0,5 В [4]. Для уточнения диапазона доминирующего размера пор осуществлялось снятие вольт-амперных характеристик структуры проводник-диэлектрик-электролит при различных концентрациях КСl в электролите в условиях прямого смещения (6, 7, 8 В).

Оптически прозрачные пленки оксида алюминия с коэффициентом пропускания 50-55% в интервале длин волн 450-650 нм были получены при введение в электролит добавки А1. Применение добавки

A2 снижает коэффициент светопропускания на 10 %. О большей прозрачности образцов свидетельствует более высокий коэффициент пропускания для образцов с A1.

Введение в электролит добавок A3 и A4 позволяет получать пленки оксида алюминия со степенью пропускания 40 и 35% соответственно. При этом следует отметить, что увеличение концентрации добавок в электролите в интервале значений 0,1 – 0,5 г/л приводит к снижению степени пропускания света для электролита с добавкой A3 и увеличению с добавкой A4.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование анизотропных добавок в растворах щавелевой кислоты позволяет получать упорядоченные, воспроизводимые и однородные по всей анодируемой площади наносетчатые алюминиевые пленки. При этом варьирование добавками и их концентрациями позволяет целенаправленно менять соотношение размеров наносетки и пор наносетчатых алюминиевых пленок. Дополнительные исследования показали, что полученные методом самоорганизованного роста пористого анодного оксида алюминия прозрачные наноструктурированные слои алюминия имеют параметры шероховатости  $Ra=0,015$  мкм,  $Rz=0,0706$  мкм,  $Rmax=0,1009$  мкм и характеризуются повышенной химической активностью при ИК нагреве. Данные пленки могут использоваться в качестве самозатемняющихся стекол в ИК оптике, дисплейной техники различного назначения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самарин, А.В. Жидкокристаллические дисплеи: схемотехника, конструкция, применение / А.В. Самарин. – М., 2002. – 310с.
2. Carter, С.Е. Modification of indium-tin oxide surfaces: enhancement of solution electron transfer rates and efficiencies of organic thin-layer devices: dis. degree of doc. of phil. / С.Е. Carter.– 2006. – № 6–Р. 324.
3. Hubarevich A., Marus M., Stsiapanau A., Smirnov A., Zhao J., Fan W., Wang H., Sun X. W.Transparent conductive nanoporous aluminium mesh prepared by electrochemical anodizing./ *Physica Status Solidi A* **212** pp 2174- 2178. – 2015.