

покрытия и требуемых эксплуатационных свойств изделий в одну технологическую операцию.

ЛИТЕРАТУРА

1 Константинов В.М., Булойчик И.А. Some aspects of sherardizing implementation during anticorrosive defence of heat-treated metal parts. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering 71/012063. 2015.

2 Булойчик И.А. Реализация процессов термодиффузионного цинкования при антикоррозионной защите термообработанных стальных изделий, 12-я международная научно-техническая конференция «Наука - образованию, производству, экономике», Минск 2014 том 1, С. 363.

3 Константинов В.М., Гурченко П.С., Булойчик И.А. Разработка совмещенного процесса термической и антикоррозионной обработки стальных деталей автотехники, Международная научно-техническая конференция «Инновации в машиностроении-2014, Минск 2014 том 3, С. 384-387.

УДК 621.315.592

А.Г. Смирнов, проф., д-р техн. наук
(БГУИР, г. Минск)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДИСПЛЕЙНЫХ И ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Актуальность исследований эффектов и явлений в наноструктурированных материалах обусловлена, с одной стороны, значительным вниманием мирового научного сообщества к данной тематике, а, с другой стороны, общими мировыми тенденциями в развитии современных технологий. Сегодня практически все индустриально развитые страны мира активно осваивают 6-й технологический уклад, в котором нанотехнологии играют основную роль [1]. Его основу составляют нанотехнологии и наноматериалы разработкой и использованием которых занимаются все страны, претендующие на позиции мировых лидеров. Поэтому сейчас бурно развиваются такие новые перспективные направления знаний, как оптоэлектроника, наноэлектроника, нанофотоника, спинтроника и др.

К настоящему времени разработано и исследовано достаточно большое количество структур, приборов и устройств на основе наноматериалов, в частности, анодного оксида алюминия или кремния, полученных методом электрохимического оксидирования без использования литографических процессов. В то же время вопросы формирования этими же методами металлических наноструктур с уникальным набором электрооптических свойств остаются недостаточно изученными. Так, например, в настоящее время наблюдается высокий интерес к оптически прозрачным электропроводящим покрытиям, широко применяемым в разнообразной портативной электронной аппаратуре, дисплеях всех типов, «умных окнах», солнечных элементах и, с недавних пор, в элементах и устройствах оптоэлектроники и нанопотоники. Сферы промышленного использования таких материалов продолжают стремительно расширяться и включают в себя крупноформатные телевизоры и системы типа “hometheatre” высокого разрешения на основе жидкокристаллических, плазменных или OLED-технологий. На основе этих же материалов и технологий производится огромное количество разнообразных портативных и мобильных электронных устройств, включая компьютеры планшетного типа iPOD, iPAD, GPS-навигаторы, мобильные телефоны и др. Наблюдается также увеличение спроса на электрохромные стекла с низким тепловым излучением и низким энергопотреблением с контролируемым уровнем пропускания солнечного света [2]. Нами достигнуто получение однородных пленок алюминия с толщинами от 50 до 1500 нм на стеклянных подложках размером 60x48 мм. Для этого использовали метод магнетронного распыления алюминиевой мишени чистотой 99,99% с рабочим давлением в камере $3 \cdot 10^{-3}$ Па, при этом скорость осаждения составляла $1,5 \text{ нм} \cdot \text{с}^{-1}$. Поверхность осажденной пленки алюминия анализировали по микрофотографиям, полученным методом электронной микроскопии.

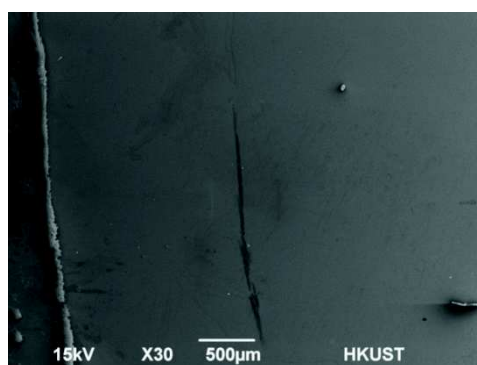


Рисунок 1 – Микрофотография поверхности пленки алюминия

Оценить однородность поверхности можно по микрофотографии, приведенной на рисунке 1. Наличие на поверхности различных включений свидетельствует о некачественной подготовке и отмывке стекол или нахождении примесных частиц в процессе напыления. Это является критичным для последующего процесса получения однородных по площади наносетчатых пленок, поэтому подготовка стекол и процесс напыления алюминия является исключительно важным. В соответствии с описанными режимами осаждения алюминиевой пленки на стеклянную подложку нами получены пленки алюминия с размерами зерен 114 - 210 нм (рис. 2).

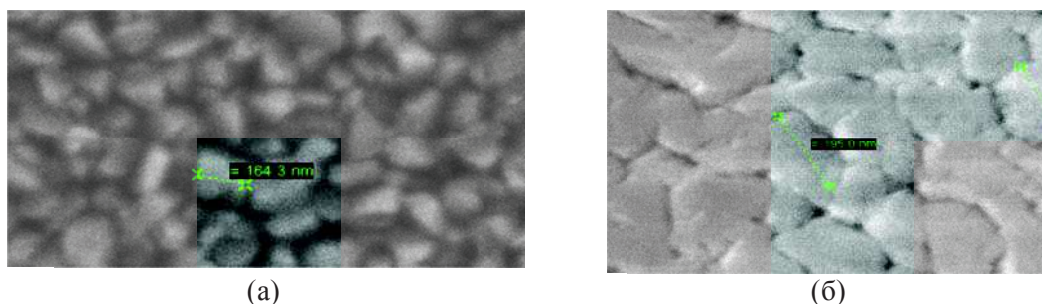
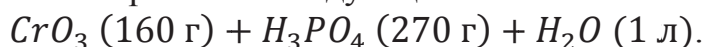


Рисунок 2 – Микрофотография поверхности пленки алюминия размером зерен 114 – 160 нм (а) и 150 – 200 нм (б)

Как видно из рисунка 2, размер зерна достаточно однороден при выбранных условиях напыления и может варьироваться от 114 нм до 200 нм.

Анализ экспериментальных результатов позволяет выявить зависимость между размером ячейки наносетчатой алюминиевой пленки и напряжением анодирования U . Размер ячеек наносетчатых алюминиевых пленок пропорционален приложенному напряжению с коэффициентом пропорциональности k , равном приблизительно 2,5 [3]. Нами проведен процесс анодирования на пленке алюминия толщиной 1500 нм, нанесенной на стеклянную подложку, в 2%-ом водном растворе винной кислоты $(\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_6)_2$. Площадь образца, на котором формируется пористый оксид, составляла $3,45 \text{ см}^2$. Выбор раствора данной органической кислоты в качестве электролита определяется ее низкой коррозионной способностью, которая позволяет проводить анодирование при высоких значениях напряжения и малых токах для получения большого диаметра пор наносетчатых алюминиевых пленок. Для проведения анодирования электролит охлаждали до $4-6^\circ\text{C}$, помещая стакан с электролитом в ванночку со льдом. Процесс анодирования проводили в комбинированном режиме, значение тока к моменту формирования наносетчатой алюминиевой пленки составляло 11 мА, напряжения – 240 В. Поверхность образца предварительно обезжировали и промывали дистил-

лированной водой. Держатель с закрепленным на нем образцом погружали в охлажденный раствор винной кислоты. Первую стадию анодирования проводили в гальваностатическом режиме, при этом максимальное значение тока ограничивали на уровне 8 мА. Достигнув значения напряжения 200 В, процесс прерывали. За это время (приблизительно 500 с) на образце образовывался слой плотного оксида алюминия толщиной примерно 200 нм. Затем образец промывали дистиллированной водой, высушивали и наносили лак по периметру образца, который погружается в раствор. Лак тщательно высушивали. На второй стадии анодирования значение тока увеличивали с 8 мА до 11 мА. Напряжение возрастало с 200 В до 240 В, затем устанавливали потенциостатический режим, ограничивая дальнейший рост напряжения. Длительность процесса формирования наносетчатой алюминиевой пленки составила 300 с, что является достаточным для контролируемого момента завершения процесса. Процесс анодного окисления проводили при интенсивном перемешивании электролита для обеспечения дополнительного транспорта продуктов реакции к поверхности образца, что приводит к более равномерному анодированию по всей поверхности. После промывки в дистиллированной воде и удаления лака с поверхности образца, стравливали оксид алюминия в травителе следующего состава:



Процесс травления проводили в вытяжном шкафу. Травитель нагревали до температуры 60–65°C в стеклянной емкости и травили в течение 4–5 мин. После травления образец несколько раз промывали в дистиллированной воде в ультразвуковой ванне, затем образец просушивали в термопечи.

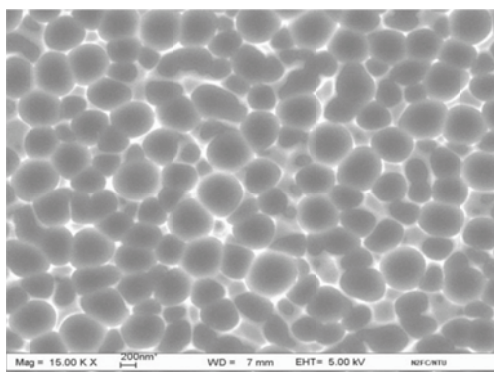


Рисунок 3 – Микрофотография наносетчатой алюминиевой пленки с максимальным размером ячеек 600 нм

Полученная нами наносетчатая алюминиевая пленка с максимальным размером ячеек 600 нм (рис. 3), отличается от структур с меньшим размером ячеек разбросом их размеров и относительной упорядоченно-

стью. Возможно, для большей упорядоченности таких структур требуется либо увеличить толщину исходной пленки алюминия, либо использовать дополнительные методы структурирования поверхности исходной пленки алюминия.

Автоматизация технологического маршрута достигается за счет программного управления источником питания и приводом перемещения электролита в зависимости от показаний измерительных приборов электрических параметров, датчиков температуры и освещения.



Рисунок 4 - Источник питания Элэтек Б-5/80

В качестве источника питания был выбран прибор Элэтек Б-5/80 (рис. 4). Этот источник может управляться компьютерной программой, написанной на языке C++. Однако стандартные драйверы прибора не позволяют получить достаточную скорость переключений между состояниями, задержка составляла 800 мс и неблагоприятно сказывалась на результатах экспериментов. После изменения исходного кода и перекомпиляции драйвера задержка сократилась до 400 мс. При помощи входящего в состав прибора и C++ SDK была написана программа-адаптер управления источником питания. Веб-сервер, написан на языке Node.js из-за ряда особенностей этого языка программирования, таких, как асинхронный вызов процедур, неблокирующие запросы в базу данных, поддержка постоянного соединения между клиентом и сервером. Такой подход позволил осуществлять управление и вывод с задержкой всего 60 миллисекунд. Работа в реальном времени достигается за счет работы веб сервера с клиентским приложением по средством webSockets. Данные выводятся на экран и устанавливаются посредством веб-браузера. Все измерения напряжения, тока, температуры и освещения во время работы установки фиксируются и заносятся в базу данных. Математические функции корректировки параметров в режиме реального времени могут задаваться отдельно для конкретных экспериментов, тем самым достигается гибкость настройки всей системы. Итоговый отклик всей системы составляет 500 мс, что достаточно для практических целей.

Разработанный комплекс позволяет просматривать результаты измерений в момент работы установки через сеть доступом по IP компью-

тера, запускать и останавливать процесс, изменять режимы системы, сравнивать между собой экспериментальные данные. За счет автоматизации технологического процесса и удобных средств отладки, достигаются предсказуемые результаты экспериментов и значительно повышается выход годных.

ЛИТЕРАТУРА

1 Авербух, В.М. Шестой технологический уклад и перспективы России (краткий обзор)/ В.М. Авербух // Вестник Ставропольского государственного университета. – 2010. – Т.70. – С. 159 – 166.

2 Nanosized metal and anodic oxide films with improved optical features for displays and photonic devices / A. Smirnov, A. Stsiapanau, A. Mohammed, Y. Mukha, A. Hadi, M. Dohah, // Physics, Chemistry and Application of Nanostructures, World Press, Singapore, 2011, P. 519-522.

3 Степанов, А.А. Структура, морфология и электрофизические свойства прозрачных наносетчатых пленок алюминия / А.А. Степанов, А.Г. Смирнов // Доклады БГУИР. – 2012. - Т.5 (67), - с. 21–27.

УДК 621.357.7

С.С. Перевозников¹; С.К. Позняк¹, канд. хим. наук;
Л.С. Цыбульская¹, канд. хим. наук;
Т.В. Гаевская¹, доц., канд. хим. наук
С.С. Грабчиков², докт. физ.-мат. наук
(¹НИИ ФХП БГУ, г. Минск;

²НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ВИСМУТ/МЕДЬ И ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ РАДИАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Применение защитных экранов, наносимых на отдельные элементы электронной аппаратуры, является одним из наиболее перспективных направлений при разработке радиационно-стойких полупроводниковых приборов [1, 2]. В качестве материала таких экранов могут быть использованы покрытия из тяжелых металлов, эффективно поглощающих высокоэнергетические излучения. Ранее было показано, что многослойные покрытия, состоящие из тяжелых металлов с разным атомным весом, могут обладать более эффективным экранирующим действием для высокоэнергетического рентгеновского излучения по сравнению с однослойными покрытиями [3]. В связи с этим в настоящей работе были получены покрытия, состоящие из чередующихся слоев висмута и меди, и исследованы их защитные свойства от высокоэнергетических электронов.