

Литература

1. Федорова С. С. Модификация электрофизических свойств пленки полиэтилентерефталата ионно-плазменным осаждением наноразмерных покрытий на основе углерода//Москва, ГОУ ВПО «МАТИ», 2005, 140 стр. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.
2. Митькин В. Н. Обзор типов неорганических полимерных фторуглеродных материалов и проблем взаимосвязи их строения и свойств // Журнал структурной химии, Т.44 - №1, 2003.
3. K. Williams, K. Gupta, M. Wasilik. Etch Rates for Micromachining Processing – Part II //J. Microelectromech. Syst., vol. 12, 2003.
4. Sascha Peters. Material Revolution 2: New Sustainable and Multi-Purpose Materials for Design and Architecture//Walter de Gruyter, 224p. 2014.

## **Формирование многофункциональных тонкопленочных покрытий на гибкой полимерной рулонной основе**

**В.К.Перешивайлов, \*Н.Н.Щербакова, Д.К.Мальчиков, Н.М. Сучилина**  
**Саратов ООО НЭСК E-mail: vitperes@mail.ru**  
**\*Саратов, СГУ имени Н.Г. Чернышевского, ул. Астраханская, 83**  
**E-mail: (nn-sar@mail.ru)**

*Нанесение покрытий наноразмерной толщины вакуумным способом на гибкую рулонную полимерную основу позволяет создать электроуправляемые оптические устройства с меньшим энергопотреблением, чем жидкокристаллические панели. Способ позволяет получать многослойные покрытия на металлической фольге, стекле, полимерных пленках, нетканых нановолокнистых материалах на основе фторопласта, полианилина, полиамида и др. При использовании двух распылительных устройств, слои разного состава могут перемежаться. Полученные пленки многофункционального назначения применимы в стеклопакетах, возможна наклейка на уже существующие стеклянные изделия, использование в интерьерах, остекление транспорта. Приведены технические характеристики вакуумной установки для нанесения тонопленочных покрытий.*

**Formation of multifunctional thin-film coatings on a flexible polymer roll base.**  
**V.K.Pereshivailov, N.N.Shcherbakova, D.K.Malchikov, N.M.Suchilina.** *Vacuum coating of nanoscale thickness on a flexible roll polymer base allows to create electrically controlled optical devices with lower power consumption than liquid crystal panels. The method allows to obtain multilayer coatings on metal foil, glass, polymer films, nonwoven materials, nanofiber materials on the basis of Teflon, polyaniline, polyamide, etc. When using two spray devices, layers of different composition can be interspersed. The films are multi-purpose- applicable in the glazing, it is possible to label existing glass product, to use them in interiors, glass transport. The technical characteristics of the vacuum installation for the application of thin-film coatings are given.*

Поставленная в работе научно-техническая задача, направлена на создание электрохромных управляемых оптических устройств (ЭУОУ) широкого промышленного назначения на основе проводящих полимерных материалов, для применения в стеклах с регулируемым затемнением (СРЗ).

ЭУОУ возможно использовать для регулирования количества света и тепла, проходящего через окна, в автомобильной индустрии для автоматического затемнения зеркала заднего вида автомобиля при различном освещении и др. т.к. обеспечивают видимость даже в затемненном состоянии, сохраняя визуальный контакт с внешней средой. Известны

преимущества ЭУОУ - нет необходимости в жалюзи и шторах, регулировка освещенности для куполов, стеклянных крыш, экономия на кондиционировании помещения летом.

Электрохромная технология находит применение во внутренних устройствах, например, для защиты объекта под стеклом и картин от повреждающего воздействия ультрафиолета и световых волн видимого диапазона.

Существует несколько технологий получения изделий с электрохромным эффектом:

1. На полимерном жидкокристаллическом слое (LCD, Liquid crystal devices);
2. На взвешенных частицах (SPD, Suspended particle devices);
3. На электрохромном (электрохимическом) слое.

Полимерные жидко-кристаллические устройства (LCD) стекла мгновенно переключаются между прозрачным и матовым состоянием: при выключенном питании стекло становится матовым, препятствуя видимости внутрь и наружу. Изготавливается из двух слоев стекла и жидкокристаллической пленки между ними. Стекло можно мыть, моллировать, использовать в составе более сложного стеклопакета.

На рынках России присутствует смарт-стекло PDLC-пленка, или SPD, производители которого работают по лицензии американской компании, держателя патента, и чаще всего применяются для тюнинга автомобилей.

Сегодня отказываются от использования ЖК-пленки PDLC. Новая пленка третьего поколения 3G имеет отличную прозрачность (светопотери составляют всего 3%), низкое напряжение питания (20 Вольт), низкую влагостойкость (нет необходимости ламинации краев), долгий срок службы (100 миллионов включений). Параметры электрохромной пленки Magic Film: низкое энергопотребление — всего 4 Вт/м<sup>2</sup>; моментальное время переключения; блокирует до 99% ультрафиолетового излучения.

В настоящей работе предлагается использовать рулонную технологию для формирования электрохромных покрытий методом вакуумной электрополимеризации электролита на полимерных оптически прозрачных проводящих электродах [1,2].

Предлагаемый способ получения изменения состояния электрохромных управляемых оптических устройств (ЭУОУ) основан на окислительно-восстановительных реакциях, происходящих между электрохроматическим слоем, электролитом и слоем аккумуляции ионов. Присутствие ионов в электрохромном слое изменяет его оптические характеристики, связанные с поглощением видимого света и способствует затемнению ЭУОУ.

Обязательным условием для ЭУОУ является наличие электролита между электродами: полимерного жидкого или твердого: оптически прозрачного, тонкопленочного с протонной проводимостью и параметрами температурной устойчивости. Во время подачи питания (порядка 1В с силой тока чуть более сотни микроампер) электролит снабжает светомодулирующий слой протонами, а подложка — электронами, или, наоборот, выводит их из слоя при смене полярности питания. В процессе насыщения частицами светомодулирующий слой принимает тем более темную окраску, чем дольше процесс или его выше интенсивность (приложенное напряжение). При смене полярности управляющего питания электроны и протоны выводятся из светомодулирующего слоя, и он снова становится прозрачным.

Электрохромное покрытие должно быть тонкопленочным, иметь высокую степень однородности толщины. Получать высококачественные электрохромные покрытия на подложках большой площади наиболее оптимально вакуумными методами, особенно магнетронным распылением.

В основу разрабатываемого технологического процесса положено соединение двух способов изготовления: вакуумного и химического нанесения покрытий. В результате научных разработок и опытных работ предполагается налаживание производства оптически прозрачной, с расширенными параметрами температурной устойчивости рулонной гибкой пленки шириной до 1500 мм. В процессе используются вакуумные технологии нанесения металлизированных покрытий на полимерную рулонную основу [3-5].

Для нанесения токопроводящих металлизированных покрытий разработана ленточная установка вакуумного напыления УВМН – 600-4000 (рис.1). Комплект технологического оборудования предназначен для металлизации различных материалов: металлической фольги и стекла, полимерных пленок, нетканых нановолокнитых материалов (НВМ) на основе фторопласта, полианилина, полиамида и др.



*Рис. 1. Общий вид опытно-промышленной установки УВМН – 600-4000.*

В основе работы оборудования лежит способ вакуумного распыления немагнитных металлических материалов Mg, Cr., Ti, Ag, Ni, нержавеющей немагнитной стали, графита и др. с помощью магнетронных распылительных устройств на рулонный материал, перематываемый в вакуумной камере. Количество магнетронных распылительных устройств (МРУ) - 2.

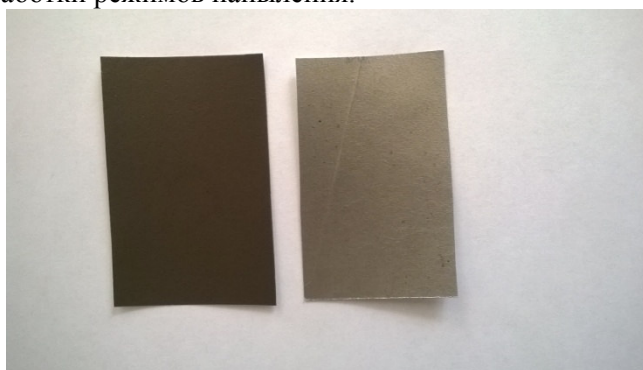
Для обеспечения работоспособности оборудования служит вакуумно-призматическая система, представляющая собой трехступенчатую систему создания вакуума: рабочее давление аргона в камере напыления регулируется в пределах  $(0,4...0,7) \cdot 100$  Па.

Разрабатывается технология получения промышленных образцов покрытий на гибкой рулонной подложке:

- Максимальные размеры (ширина рулона), мм 500
- Толщина рулонной основы (пленки, НВМ), мкм 27- 180
- Диапазон рабочих температур, °С от - 30 до + 80

Предлагаемый способ вакуумного напыления позволяет получать многослойные покрытия - 100, 200 и более слоев, при этом, слои могут перемежаться, при использовании двух МРУ.

На рис. 2 и 3 представлены образцы НВМ с многослойным металлическим напылением, используемые для отработки режимов напыления.

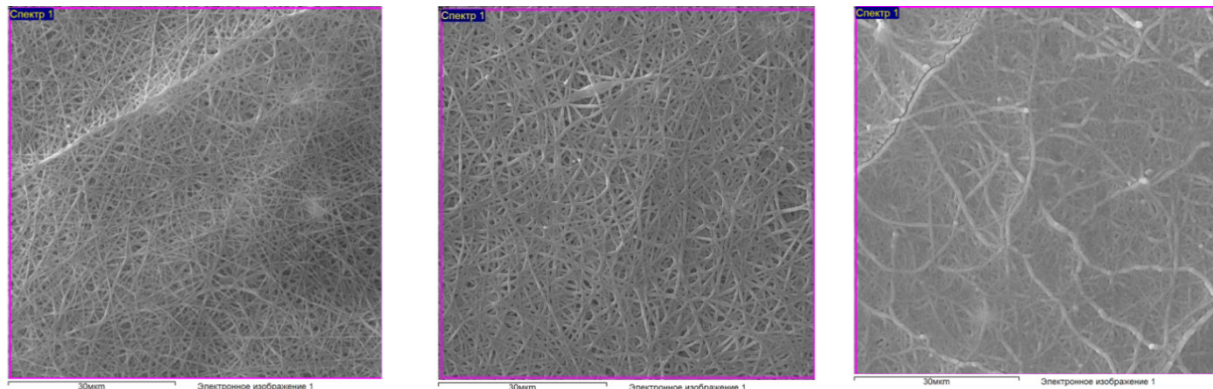


*Рис. 2. Внешний вид образцов нетканых материалов с металлизированным покрытием: темный образец - многослойное покрытие титаном и графитом, светлый образец - покрытие оксидом магния.*

С увеличением количества наносимых слоев металла меняется и морфология образца НВМ: на рис. 3 приведены изображения поверхности НВМ с титановым покрытием в порядке увеличения количества наносимых слоев.

Проведение химического элементного анализа образцов покрытия позволяет проследить изменение количества наносимого металла.

Наблюдается увеличение количества весовых процентов Ti в образце с увеличением количества прогонов под распыляемой мишенью. Данные по образцам получены и представлены на соответствующих изображениях рис. 3 и в таблице 2.

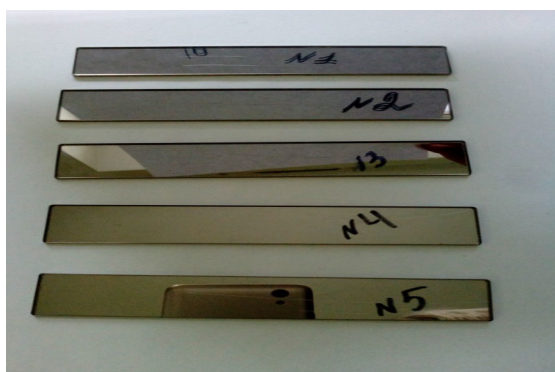


*Рис. 3. Изображение морфологии и области энергодисперсионного анализа для определения состава образца №1 (а), образца №2 (б) и образца №3 (в) при увеличении 5000 крат.*

Таблица 2 -Результаты химического элементного анализа образцов НВМ на основе фторопласта с титановым покрытием (весовые проценты / атомные проценты).

<b>Образец/ Элемент</b>	<b>C</b>	<b>O</b>	<b>F</b>	<b>Al</b>	<b>Cl</b>	<b>Ti</b>	<b>Cu</b>
№1	29.84	7.37	54.47	0.20	0.33	7.54	0.25
№2	18.58	17.45	33.74	0.40	0.65	28.89	0.29
№3	6.64	25.84	4.77	0.79	0.52	61.13	0.30

Представленная вакуумная рулонная технология и оборудование для нанесения металлизированных покрытий позволяет получать широкий спектр материалов многофункционального назначения для ЭУОУ и электротехнических устройств, энергонакопителей и др.



*Рис.4 Стекланные образцы с нанесенным металлическим покрытием различного состава.*

На рис. 5 представлены результаты замеров толщины покрытия на стекланных образцах - свидетелях в зависимости от количества нанесенных слоев.

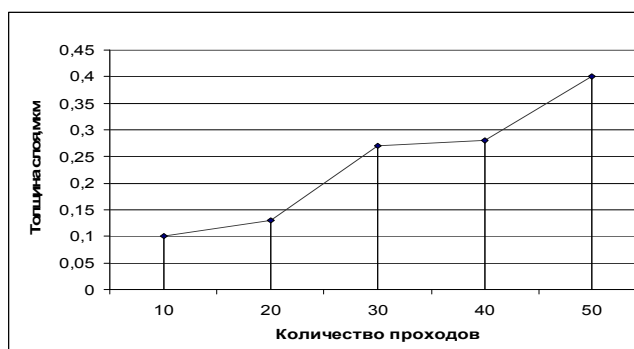


Рис. 5. Зависимость толщины покрытия от количества проходов при напылении.

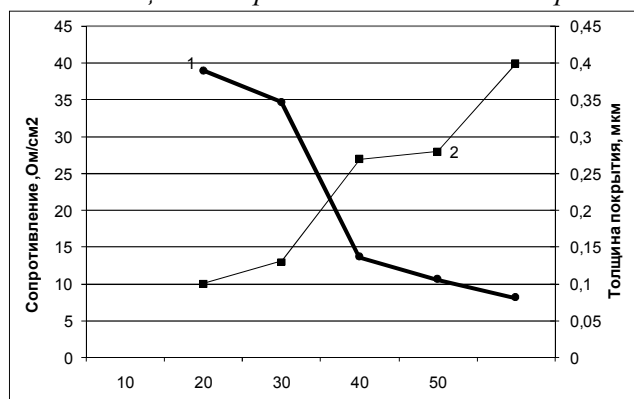


Рис. 6. Соотношение толщины (2) и поверхностного сопротивления (1) покрытия на образце при увеличении количества проходов при напылении.

#### Литература

1. Вакуумное напыление прозрачных проводящих пленок на подложки с полимерной основой/ Перевозникова Я.В., Перешивайлов В.К., Скупова А.В. /Вопросы электротехнологии. 2015. № 1 (6). С. 28-31.
2. Перевозникова Я.В., Щербакова Н.Н., Колоколова Е.В., Перешивайлов В.К. Определение технологических эксплуатационных характеристик протонпроводящего полимерного электролита. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-19276>
3. Промежуточный технологический контроль процесса получения проводящего слоя на поверхности нановолокнистых материалов/ Щербакова Н.Н., Перешивайлов В.К., Перевозникова Я.В., Слепцов В.В. /Стекло и керамика. 2017. № 9. С. 28-31.
4. Патент РФ 2677551 Способ напыления электропроводящего металл-углеродного многослойного покрытия на ленточную подложку из нетканого волокнистого материала
5. ПМ РФ 182457 Установка вакуумного напыления тонких пленок