

относительной влажности непосредственно во время нанесения более эффективно обеспечивает самоорганизацию мицелл в пленках, в отличие от выдержки в условиях повышенной влажности после осаждения.

Показано, что изменение скорости нагрева незначительно влияет на показатель преломления (n) пленок и, соответственно, пористость (V). Существенное уменьшение n (увеличение V) наблюдается при загрузке образцов в заранее разогретую печь.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-79-30016).

Список литературы

1. Серегин Д.С. и др. Формирование мезопористых тонких пленок диоксида титана методом молекулярной самосборки // Нано- и микросистемная техника. 2025. Т. 27, № 2. С. 72–79. DOI 10.17587/nmst.27.72-79.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА FTO-ПЛЁНОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

**В. В. Сидский¹, А. В. Семченко¹, В. Е. Гайшун¹, А. А. Маевский¹, К. Д. Данильченко¹,
П. П. Парчинский², А. А. Насиров², С. А. Хахомов¹**

*¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by;*

*²Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Республика Узбекистан*

Для формирования прозрачных проводящих покрытий на основе фторида и оксида олова (FTO) применен метод спрей-пиролиза, отличающийся простотой реализации, гибкостью и возможностью нанесения равномерных пленок на подложки различного размера. В качестве устройства для формирования аэрозоля использован компрессорный небулайзер, обеспечивающий преобразование жидкого прекурсора в мелкодисперсный аэрозоль [1].

Раствор прекурсора готовили на основе водно-спиртовой смеси с добавлением хлорида олова и аммония фтористого в качестве источников олова и фтора соответственно. Для модификации свойств покрытий в раствор вводился графеновый нанопорошок в концентрациях 5 и 10 масс. %. Синтезируемый золь выдерживался при температуре (22 ± 2) °С в течение 2–3 суток для завершения процессов гидролиза и поликонденсации.

Процесс формирования пленок осуществлялся при температуре подложки 250–300 °С, что обеспечивало пиролитическое разложение прекурсоров с последующим образованием FTO-покрытия. Для повышения однородности и сплошности пленок была произведена модификация конструкции установки, обеспечивающая нанесение покрытия на вертикально ориентированную подложку, что способствовало равномерному распределению аэрозоля по всей площади образца. Важным преимуществом метода является отсутствие необходимости создания вакуума, что делает технологию экономически эффективной и масштабируемой.

На рисунке 1 представлены типичные АСМ-изображения поверхности образца FTO:графен (топография, фазовый контраст, маркировка зерен), полученные с помощью Gwyddion. Область сканирования – 4×4 мкм. Введение графена не оказывает существенного влияния на морфологию поверхности пленок FTO:графен.

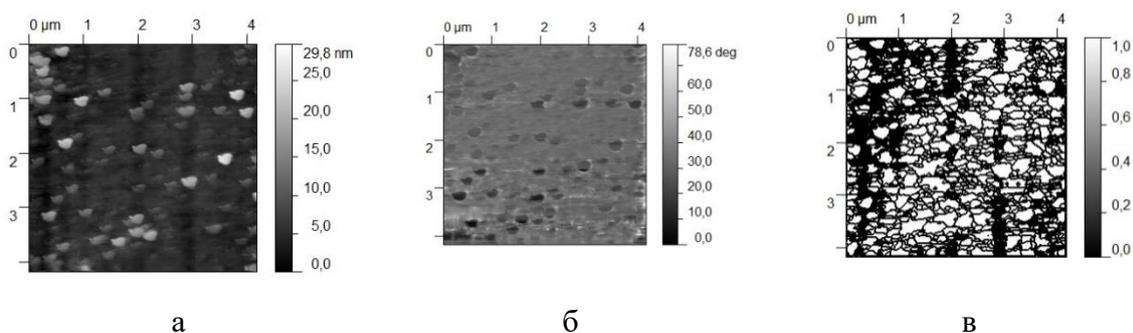


Рисунок 1 – АСМ изображения поверхности образца FTO: графен (6 слоёв):
а – топография; б – фазовый контраст; в – маркировка зерен

Как видно из рисунка 1, поверхность пленки FTO:графен состоит из равномерно распределённых зерен с чёткими границами, в результате формируется плотный слой с размером зерен около 80 нм и субшероховатостью 6,5 нм. Полученные покрытия отличаются высокой адгезией к подложке.

Оптические свойства проводящих пленок исследованы с помощью спектрофотометра Cary 50. На рисунке 2 показаны спектры пропускания FTO-пленок без графена и с его содержанием 5 и 10 масс. %.

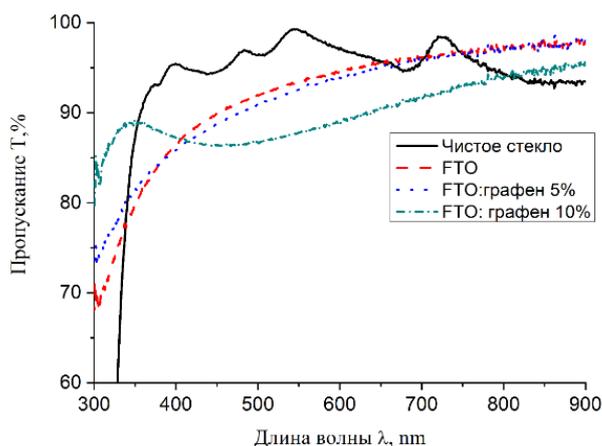


Рисунок 2 – Спектры пропускания пленок FTO с различным содержанием графена (0, 5, 10 масс. %)

Как видно из рисунка 2, пленки FTO с содержанием графена 0, 5 и 10 масс. % демонстрируют коэффициент пропускания 90–97 % в видимой области. Снижение пропускания при 300–380 нм связано с поглощением графена. Резкий спад края поглощения и его положение указывает формирование широкозонного полупроводника.

Анализ элементного состава тонких пленок FTO, содержащих графен и ионы церия, показал наличие элементов C, O, Sn, Si, а также примесей F, Na, Mg, Al, Ca. Включение атомов олова и фтора формирует точечные примесные дефекты, тогда как кислородные вакансии и избыток углерода способствуют изменению электрофизических характеристик покрытий. Наиболее низкое удельное сопротивление ($2,6 \times 10^{-3}$ Ом·см) зафиксировано для пленок FTO, содержащих графен и церий. При термообработке до 550 °C происходит выгорание графена, что приводит к росту удельного сопротивления до $1,3 \times 10^{-2}$ Ом·см и сопровождается изменением спектров фотолюминесценции. Уменьшение интенсивности люминесценции в области

530–550 нм в графенсодержащих образцах почти в 5 раз указывает на изменение зарядового состояния церия ($\text{Ce}^{4+} \rightarrow \text{Ce}^{3+}$), что связано с восстановлением церия при выгорании углерода и подтверждается ухудшением электропроводности пленок.

Работа выполнена при частичной поддержке БРФФИ (проект № Т25УЗБ-111).

Список литературы

1. Suer B., Ozenbas M. Conducting fluorine doped tin dioxide (FTO) coatings by ultrasonic spray pyrolysis for heating applications // *Ceramics International*. 2021. Vol. 47, No. 12. P. 17245–17254.

ГИБРИДНЫЙ МАТЕРИАЛ В СИСТЕМЕ НИТРАТ ЦЕРИЯ(III)/ХИТОЗАН/МОЧЕВИНА

В. Е. Силантьев^{1,2}, Л. А. Земскова¹, Д. Х. Шлык¹

¹*Институт химии Дальневосточного отделения РАН,
Российская Федерация, zemskova@ich.dvo.ru;*

²*Дальневосточный федеральный университет, Школа медицины и наук о жизни,
Российская Федерация, vladimir.silantyev@gmail.com*

Ультра- и нанодисперсный диоксид церия является перспективным материалом в современных высокотехнологичных отраслях промышленности: в качестве компонента полирующих смесей и абразивов, в составе защитных покрытий от УФ-излучения, антиотражающих покрытий солнечных батарей, в газовых сенсорах, катализаторах дожигания выхлопных газов автомобилей, антикоррозионных покрытий металлов и др.

Уникальные биохимические свойства, обнаруженные у нанодисперсного диоксида церия, активно исследуются с целью медико-биологического применения.

Более того, CeO_2 часто комбинируют с другими материалами. В частности, с биополимерами для получения многокомпонентных композитов, с подходящими участками для закрепления клеток или лекарственных препаратов. Например, желатин, коллаген, альгинат, каррагинан, мальтодекстрин, хитозан, как стабилизирующие агенты, были использованы для получения многокомпонентных композитов на основе CeO_2 с потенциальными биологическими свойствами. Хитозан сам по себе обладает уникальными характеристиками: биосовместимостью, биоразлагаемостью, низкой токсичностью, способностью к пленкообразованию. Композиты, изготовленные из неорганических наноразмерных частиц с антимикробными, противовоспалительными свойствами в сочетании с природными биополимерами, могут быть очень эффективными материалами для создания перевязочных материалов или пленок для восстановления/регенерации различных тканей.

Широкому применению CeO_2 , в основном, препятствует агрегация наночастиц, которая устраняется использованием полимеров/биополимеров в качестве структурно направляющих агентов. Активность наночастиц сильно зависит от их размера и морфологии, определяемыми условиями синтеза. Поэтому предпринимается тщательный контроль за концентрациями реагентов, pH, стабилизирующими агентами.

В данной работе предпринята попытка оценить возможность формирования наночастиц оксида церия в процессе их осаждения (из нитрата церия как прекурсора) в присутствии хитозана в результате гомогенного гидролиза мочевины в реакционной смеси при 90 °С. Образцы охарактеризованы методами РФА, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и ИК спектроскопии.