

## ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЁНОК ОКСИДА ЦИНКА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

**Т.И. ГОГЛИДЗЕ, И.В. ДЕМЕНТЬЕВ, А.П. ЗАДОРЖНЫЙ,  
А.В. КОВАЛЬ, П.А. ПЕТРЕНКО, П.А. ГАШИН**

*Молдавский государственный университет*

Показана возможность осаждения тонких однородных слоёв оксида цинка с низкой проводимостью электрофоретическим методом. Представлены результаты измерений фотолюминесценции тонких слоёв ZnO при температурах 300 К и 77 К.

**Ключевые слова:** электрофоретический процесс, оксид цинка, люминесценция.

### CHARACTERISTICILE LUMINESCENTE ALE FILMELOR SUBȚIRI DE OXID DE ZINC OBTINUTE PRIN ELECTROFOREZĂ

Se arată posibilitatea depunerii straturilor subțiri omogene pe substraturi cu coeficient scăzut de conductibilitate prin metoda electroforetică. Sunt prezentate rezultatele măsurărilor de fotoluminescență a straturilor subțiri de ZnO la temperaturi de 300 și de 77 K.

**Cuvinte-cheie:** proces electroforetic, oxid de zinc, luminescență.

### LUMINESCENCE CHARACTERISTICS OF THIN FILMS OF ZINC OXIDE OBTAINED BY ELECTROPHORESIS

It is shown the possibility of thin homogeneous layers deposition on substrates with low conductivity by electrophoresis. The results of measurements of photoluminescence ZnO thin films at temperatures of 300 and 77 K are presented.

**Keywords:** electrophoretic process, zinc oxide, luminescence.

Оксид цинка ZnO является важным функциональным материалом, применяемым во многих областях техники. Это прямозонный полупроводник с большой шириной запрещенной зоны, равной 3,3-3,4 эВ при комнатной температуре. Для него характерна гексагональная кристаллическая решетка с параметрами  $a_0 = 0,325$  нм и  $c_0 = 0,521$  нм [1]. Будучи оптически прозрачным широкозонным полупроводником, оксид цинка используется для создания высокоэффективных светоизлучающих приборов, работающих в голубой и ультрафиолетовой областях спектра электромагнитного излучения, солнечных элементов, проводящих прозрачных электродов, тонкопленочных транзисторов, сенсорных устройств, УФ-фильтров и т.д. [2-5].

Пленки оксида цинка получают различными методами: методом магнетронного распыления [5], молекулярно-лучевой эпитаксии, химическим осаждением из паровой фазы [1, 2], методом испарения порошка ZnO при высокой температуре. Эти методы достаточно эффективны и позволяют получать сплошные поликристаллические плёнки и различные объекты с развитой морфологией. Однако они требуют применения сложного и дорогостоящего оборудования и больших энергозатрат, в частности – ввиду высокой температуры процесса. Более привлекательными представляются электрохимические методы осаждения тонких плёнок. Основными преимуществами этих методов являются: низкая температура, относительно высокая скорость осаждения, малые энергозатраты, небольшая стоимость оборудования и реагентов, возможность обработки больших площадей и сложных профилей [4]. И среди них наиболее экономически выгодным является метод электрофоретического осаждения (ЭФО) твёрдого электролита на поверхность анода или катода. Процесс ЭФО состоит из следующих основных этапов [6]:

- 1) приготовление устойчивой суспензии наносимого оксидного материала в подходящей жидкой дисперсионной среде;
- 2) наложение на суспензию электрического поля, вызывающего движение частиц к электроду и их осаждение на нём [7];
- 3) сушка и спекание полученного покрытия.

Поскольку ЭФО в водной среде может сопровождаться выделением газов на электродах, что приводит к дефектам покрытия, в настоящее время стали широко применяться спиртовые дисперсионные среды [4, 5], а процесс ЭФО проводится при напряжённостях электрического поля 50-200 В/см.

В данном сообщении представлены результаты исследования люминесцентных характеристик тонких плёнок ZnO, полученных методом ЭФО на стеклянные и кремниевые подложки.

В качестве исходного материала для формирования плёнок ZnO использовали мелкодисперсный порошок оксида цинка с параметрами решётки  $a_0=0,3249$  нм и  $c_0=0,5206$  нм, рассчитанными с помощью рентгенодифракционного анализа данного материала (рис.1). Люминесцентная характеристика порошка представлена на рис.2. Максимум люминесценции соответствует длине волны 515 нм. Ширина максимума на половине высоты составляет 180 нм.

Для получения суспензии порошка ZnO использовали изопропиловый спирт (о с ч). Компоненты были взяты в соотношении 0,2 г ZnO на 50 мл изопропилового спирта. ЭФО осуществляли в кварцевой ячейке с электродами, подключёнными к источнику постоянного напряжения Б5-50.

Предварительные эксперименты по ЭФО показали, что слой оксида цинка оседает на катоде, что совпадает с описанными в литературе примерами ЭФО покрытий YSZ суспензий в неводных растворителях [6]. Это связано с тем, что в суспензии ZnO в изопропиловом спирте на поверхности частиц формируется двойной электрический слой, в котором поверхностный потенциал определяют положительно заряженные ионы.

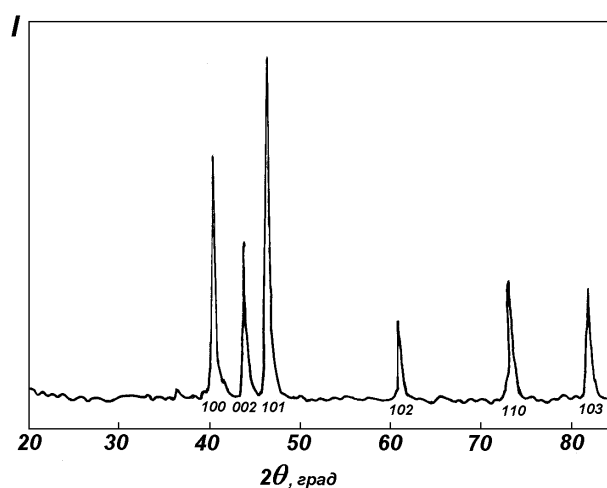


Рис.1. Рентгенограмма порошка ZnO.

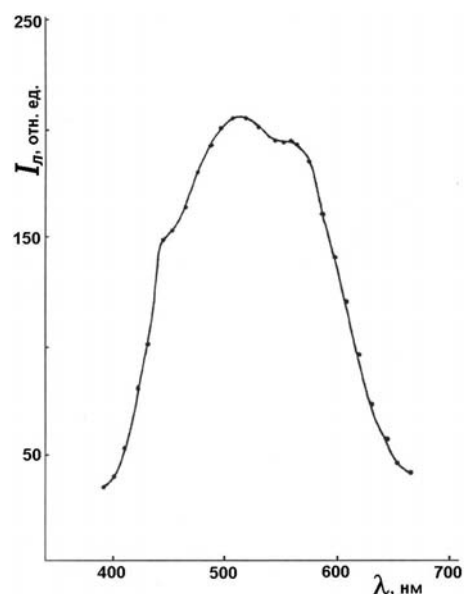


Рис.2. Спектральное распределение интенсивности фотолюминесценции порошка ZnO при комнатной температуре.

В качестве катода использовали кремниевые подложки. Анодом служил электрод из нержавеющей стали размером (20×13) мм. Расстояние между электродами составляло 1 см. Время осаждения – от 1 до 5 мин. Осаждённые слои получались достаточно плотными и однородными, а толщина слоя определялась длительностью процесса.

На рис.3 представлена фотография поверхности слоя, осаждённого на кремниевую подложку.

Спектры люминесценции были исследованы при комнатной температуре (рис.4, кр. 1) и при температуре жидкого азота (рис.4, кр. 2). Как видно из графика (рис.4), максимум люминесценции, измеренной при комнатной температуре (кр. 1), соответствует длине волны 500 нм, полуширина кривой составляет 132 нм. Величина интенсивности люминесценции при температуре жидкого азота (кр. 2) несколько выше, положение максимума (496 нм) незначительно смещено в коротковолновую область относительно максимума кривой 1. Полуширина кривой составляет 92 нм.

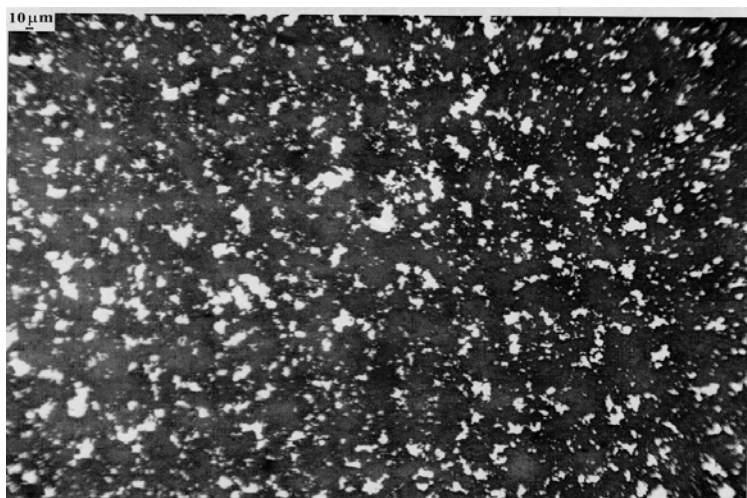


Рис.3. Фотография поверхности слоя ZnO на кремниевой подложке.

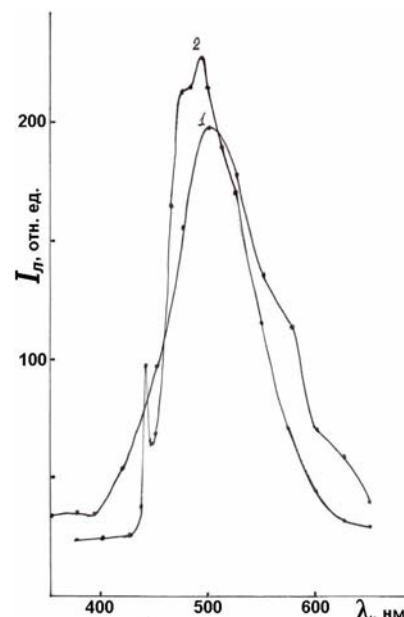


Рис.4. Спектральное распределение интенсивности люминесценции слоя ZnO.  
1. T=300 К, 2. T=77 К.

Наблюдаемая на полученных слоях оксида цинка зелёная люминесценция может быть интерпретирована по аналогии с результатами работы [8], где отмечается, что центрами зелёной люминесценции могут являться вакансии цинка, хемисорбированный кислород и неидентифицированные донорно-акцепторные пары. Присутствие дополнительного максимума при 442 нм на кр. 2 можно объяснить захватом дырок, предшествующим зелёной люминесценции, на уровнях, отстоящих примерно на 0,44 эВ от потолка валентной зоны [8, 9].

Таким образом, экспериментальные данные позволяют сделать вывод об эффективности метода электрофоретического осаждения при получении тонких люминесцентных слоёв оксида цинка на проводящие покрытия. Полученные структуры могут найти применение в различных устройствах оптоэлектроники для регистрации УФ и рентгеновского излучения.

#### Литература:

1. D. P. Norton, Y. W. Yeo, M. P. Ivill, R. Ip, S. J. Pirton, M. F. Chisholm, T. Steiner. *Materials Today*. 7, 34 (2004).
2. Ü. Özgür, Y. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Doğan, V. Avrutin, S.-J. Cho, H. Morkoç. *J. Appl. Phys.* 98, 041301 (2005).
3. Z. L. Wang. *Materials Today*. 7, 26 (2004).
4. D. Lincot. *Thin Solid Films*. 487, 40 (2005).
5. H. Ohta, H. Hosono. *Materials Today*. 7, 42 (2004).
6. Сафронов А.П., Калинина Е.Г., Котов Ю.А., Мурзакаев А.М., Тимошенкова О.Р. Электрофоретическое осаждение нанопорошков на пористой поверхности // *Российские нанотехнологии*, 2006, т.1, №1-2.
7. Духин С.С., Дерягин Б.В. *Электрофорез*. - Москва: Наука, 1976.
8. Кузьмина И.П., Никитенко В.А. *Окись цинка. Получение и оптические свойства*. - Москва: Наука, 1984.
9. Скориков С.В., Латышев А.Н., Смирнов М.С., Леонова Л.Ю. Оптическое гашение полос люминесценции микрокристаллов оксида цинка // *Конденсированные среды и межфазные границы*, 2012, т.14, №3, с.334-337.

Prezentat la 22.11.2012