

УДК 621.383.51

## СТРУКТУРНЫЕ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК CdS

В.В. Хорошко<sup>1</sup>, В.Ф. Гременок<sup>2</sup>, И.Н. Цырельчук<sup>1</sup>, О.Д. Аксенов<sup>1</sup>, В.К. Ли<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

<sup>2</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск

## STRUCTURE, MORPHOLOGY AND OPTICAL CHARACTERISTICS OF CdS THIN FILMS

V.V. Khoroshko<sup>1</sup>, V.F. Gremenok<sup>2</sup>, I.N. Tsyrelchuk<sup>1</sup>, O.B. Aksyonov<sup>1</sup>, V.K. Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

<sup>2</sup>Scientific and Practical Center for Materials of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk

Представлены результаты формирования тонких пленок CdS методом химического осаждения с использованием различных методов размешивания водного раствора и положения подложки. Проведены исследования структурных, морфологических и оптических свойств тонких пленок CdS. Рентгенограммы показали характерные для CdS пики (111), (220) и (311). Значения ширины запрещенной зоны находились в пределах 2,39–2,48 эВ, что соответствует литературным данным. Использование методов позволяет формировать тонкие пленки высокого качества со стабильными характеристиками и управляемой толщиной.

**Ключевые слова:** тонкие пленки, CdS, физические свойства.

The results of the formation CdS thin films by chemical deposition using various techniques of stirring an aqueous solution and the position of the substrate are presented. The structural, morphological, and optical properties CdS thin films were studied. X-ray diffraction patterns showed the peaks (111), (220), and (311) of CdS. The values of the band gap are in the range 2,39–2,48 eV, which corresponds to the published data. The use of methods allows the formation of thin films.

**Keywords:** thin films, CdS, physical properties.

### Введение

Возобновляемые источники энергии на протяжении нескольких десятилетий прочно заняли своё место в мировом энергобалансе. Среди различных вариантов получения энергии широкое распространение получило прямое преобразование солнечного излучения полупроводниковыми фоточувствительными структурами (солнечными элементами, модулями, батареями). На сегодняшний день наиболее распространенным материалом для изготовления полупроводниковых солнечных элементов остается кремний, однако традиционные отработанные технологии получения слоев кремния не позволяют выполнять эти слои достаточно тонкими, а также сопровождаются большим процентом отходов чистого моно- или поликристаллического кремния [1]. Развитие тонкопленочной технологии позволило создавать фотопреобразователи с высокими значениями КПД и толщиной до десятка микрон.

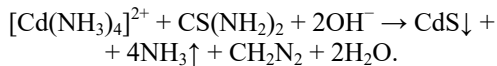
Сульфид кадмия (CdS) является полупроводниковым материалом, используемым в качестве «оконного слоя» в тонкопленочных солнечных элементах. В фотоэлементах излучение проходит через CdS слой и поглощается в полупроводнике р-типа вблизи р-п перехода. Излучение, поглощаемое CdS, снижает КПД фотоэлемента, особенно в части спектра соответствующего

синему цвету. Чтобы избежать потерь, толщину CdS слоя стремятся сделать минимальной, поэтому критически важными для данного типа тонких пленок являются морфология и оптические характеристики. Для формирования поликристаллических тонких пленок CdS могут быть применены различные методы: распыление, электроосаждение, химическое осаждение и др. Среди различных методов наибольшее распространение получило химическое осаждение CdS. Метод химического осаждения основан на контролируемом равномерном осаждении материалов на подложку с использованием очень дешевых экспериментальных установок и химических реагентов, что позволяет формировать оптимальные по своим характеристикам для применения в фотоэлектрических преобразователях. В статье представлены результаты исследования характеристик тонких пленок для применения в качестве оконного слоя.

### 1 Экспериментальная часть

Тонкие пленки были сформированы на стеклах (75×25 мм<sup>2</sup>) из химической ванночки, содержащей хлорид кадмия, аммоний хлорид, гидроксид аммония и тиомочевину. Температура для всех экспериментов составляла 75±2 °С. Последовательность образования CdS в результате

химического осаждения хорошо изучена и может быть описана следующим образом [2]:



Все растворы были подготовлены в деионизованной воде. Непосредственно перед осаждением тонких пленок для обеспечения хорошей адгезии подложки были очищены с помощью безщелочного моющего средства, ультразвуковой очистки и последующей сушки в атмосфере азота. На всем протяжении добавления компонент водный раствор размешивали непрерывно. Раствор содержал 0,02 М хлорида кадмия и 0,05 М хлорида аммония на 100 мл дистиллированной воды. Затем для поддержания pH на уровне 9 было добавлено 50 мл гидрата аммиака. Образование CdS начиналось после добавления тиомочевины 0,05 М, при этом температура раствора уже была доведена до 75 °С. В процессе формирования пленок использовалась магнитная мешалка. Для получаемых образцов варьировались параметры эксперимента: время осаждения (20, 30, 40, 50 мин) и использование / не использование вибраций подложки (с частотой 60 Гц).

После получения образцов были исследованы структурные, морфологические, оптические и электрические свойства тонких пленок. По измеренным спектрам пропускания рассчитывали коэффициенты поглощения, а ширину запрещенной зоны рассчитывали аппроксимацией прямолинейного участка  $(\alpha h\nu)^2$  на ось  $h\nu$ . Кристаллическую структуру определяли при помощи рентгенофазового анализа. Морфологию поверхности определяли с использованием атомно-силовой микроскопии

## 2 Результаты и их обсуждение

Для первого режима осаждения (с использованием вибраций подложки) были выполнены 4 серии образцов пленок с различным временем осаждения. В таблице 2.1 показаны результаты расчета ширины запрещенной зоны и измеренной толщины пленок.

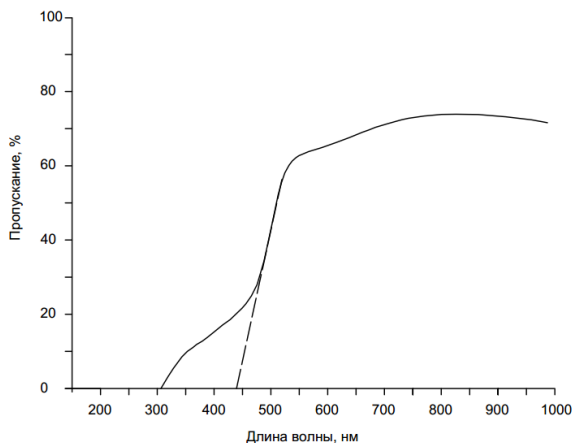


Рисунок 2.1 – Типичный спектр пропускания и АСМ тонких пленок CdS

Таблица 2.1 – Параметры пленок CdS для первого режима

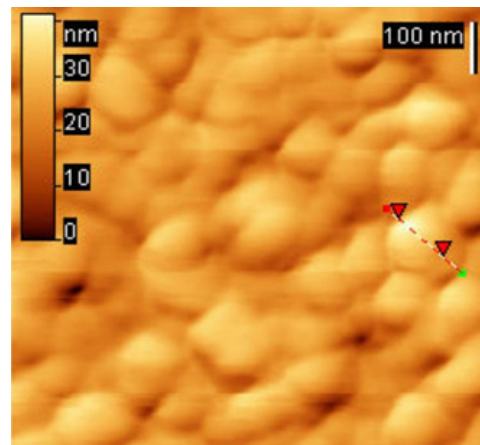
№ п/п	Ширина запрещенной зоны, эВ	Толщина пленки, нм	Шероховатость, Ra, нм	Время осаждения, мин
1	2,46	158	28	20
2	2,48	233	50	30
3	2,42	258	42	40
4	2,41	252	36	50

Для второго режима (без вибраций подложки) были также синтезированы 4 серии образцов пленок. Результаты измерений приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры пленок CdS для второго режима

№ п/п	Ширина запрещенной зоны, эВ	Толщина пленки, нм	Шероховатость, Ra, нм	Время осаждения, мин
1	2,45	181	56	20
2	2,44	214	48	30
3	2,39	252	60	40
4	2,42	269	52	50

При проведении РФА (JCPDS № 89–0019) каких-либо дополнительных пиков, кроме (111) на 26,81°; (220) на 44,27°; (311) на 52,34°; (420) на 72,71°, соответствующих соединению CdS, выявлено не было. Шероховатость поверхности для всех пленок находилась в пределах 28–60 нм, какой-либо взаимосвязи между условиями эксперимента и параметрами шероховатости не было обнаружено. Морфология поверхности у всех образцов удовлетворяла требованиям, предъявляемым к буферному слою фотоэлементов (плотнупакованные зерна с размерами 80–100 нм). Что касается значения ширины запрещенной зоны, то в обоих случаях, с увеличением времени осаждения (и увеличением толщины пленок), наблюдается её незначительное уменьшение. При этом такие изменения не коррелируют с параметрами шероховатости и размерами



зерна пленках. Ширина запрещенной зоны тонких пленок находилась в пределах 2,39–2,48 эВ. Типичная морфология поверхности и спектр образцов показаны на рисунке 2.1. Результаты хорошо согласуются с литературными данными [3]–[5.]

Скорость осаждения тонких пленок для первого режима на протяжении первых 30 минут была постоянной и составляла ~7,5–8 нм/мин с последующим замедлением до 2,5 нм/мин. Для второго режима скорость осаждения в течении первых 20 минут составляла около 9 нм/мин с последующим уменьшением до 2–3 нм/мин.

### Заключение

Методом химического осаждения сформированы тонкие пленки CdS с варьированием условий эксперимента (время осаждения и положение подложки). Определена кристаллическая структура тонких пленок (пики (111), (220) и (311)). Шероховатость поверхности для всех пленок находилась в пределах 28–60 нм. Ширина запрещенной зоны тонких пленок находилась в пределах 2,39–2,48 эВ. Установлена скорость осаждения тонких пленок для обоих методов: для первого режима на протяжении первых 30 минут была постоянной и составляла ~7,5–8 нм/мин с последующим замедлением до 2,5 нм/мин; для второго режима скорость осаждения в течении первых 20 минут составляла около 9 нм/мин с последующим уменьшением до 2–3 нм/мин.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Jordan, D. Photovoltaic Degradation Rates – An Analytical Review / D. Jordan, S. Kurtz // *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. – 2013. – Vol. 21, № 1. – P. 12–29. – DOI: 10.1002/pip.1182.
2. *Growth and physical properties of CdS thin films prepared by chemical bath deposition* / H. Moualkia, S. Hariech, M.S. Aida, N. Attaf, E.L.Laifa // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2009. – Vol. 42, № 13. – P. 135404. – DOI: 10.1088/0022-3727/42/13/135404.
3. Al-Hussam, A.M.A. Synthesis, structure, and optical properties of CdS thin films nanoparticles prepared by chemical bath technique / A.M.A. Al-Hussam, S.A.-J. Jassim // *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*. – 2012. – Vol. 11, № 1. – P. 27–31. – DOI: 10.1016/j.jaubas.2011.10.001
4. Dongre, J.K. Structural, optical and photoelectrochemical characterization of CdS nanowire synthesized by chemical bath deposition and wet chemical etching / J.K. Dongre, V. Nogriva, M. Ramrakhiani // *Applied Surface Science*. – 2009. – Vol. 255, № 12. – P. 6115–6120. – DOI: 10.1016/j.apsusc.2009.01.064
5. Rajpal, S. Structural and Optical Properties of CdS Thin Film Grown by Chemical Bath Deposition / S. Rajpal, V. Bandyopadhyay // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. – 2013. – Vol. 5, № 3. – P. 03021-1–03021-3.

Поступила в редакцию 30.12.2019.