

Синтез наноструктур на основе оксида цинка для создания гетероструктурных фотовольтаических элементов

© Н.А. Лашкова*, А.И. Максимов*, А.А. Рябко*, А.А. Бобков*, В.А. Мошников**•, Е.И. Теруков**♦

* Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“,
197376 Санкт-Петербург, Россия

† Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
195251 Санкт-Петербург, Россия

• Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого,
173003 Великий Новгород, Россия

♦ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: eug.terukov@mail.ioffe.ru

(Получена 3 марта 2016 г. Принята к печати 10 марта 2016 г.)

Разработана модель гетероструктурного фотовольтаического элемента на основе оксидов цинка и меди. Зародышевые слои оксида цинка и оксида меди синтезированы методом спрей-пиролиза. Для формирования объемного гетероперехода выращены наностержни оксида цинка с помощью гидротермального синтеза. Изучены морфологические, электрофизические и оптические свойства полученных структур.

1. Введение

Разработка фотовольтаических систем, предназначенных для питания переносных устройств, является наиболее актуальной на современном этапе развития мобильной техники. Особое значение приобретает создание эффективных, экологически чистых, возобновляемых источников энергии на гибкой основе [1]. Использование фотоэлементов для преобразования солнечной энергии в электрическую имеет ряд неоспоримых достоинств, таких как прямое преобразование энергии световых квантов в электрическую; разнообразие элементной базы для создания солнечных фотоэлементов; отработанные технологии и возможность создания модульных систем различной прочности, уже существующая элементная база для гибкой электроники, которая постоянно совершенствуется, и др. [2,3]. Поэтому применение солнечной энергетики в труднодоступных удаленных регионах и в гибкой электронике уже в настоящее время является экономически оправданным.

Гетероструктурная солнечная энергетика является перспективным направлением использования оксидных материалов. Одной из разновидностей таких структур, имеющих высокую эффективность, являются НИТ (Heterojunction with Intrinsic Thin layer — тандемные гетеропереходные тонкопленочные солнечные элементы) [4]. В работах [5–7] были показаны перспективы использования гетероструктур ZnO–CuO в солнечной энергетике.

Оксид цинка (ZnO) представляет несомненный интерес благодаря своим полупроводниковым и пьезоэлектрическим свойствам [8–12]. ZnO — широкозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны $E_g \approx 3.94$ эВ при $T = 0$ К и 3.37 ± 0.01 эВ при комнатной температуре, обладающий n -типом проводимости. В основном оксид цинка встречается в структуре типа вюрцит. Наноструктуры ZnO находят применение в качестве

полевых транзисторов, газовых сенсоров, биосенсоров, полевых эмиссионных дисплеев и наноэлектромеханических систем (NEMS) [3,13–20]. Свойства оксида цинка позволяют на его основе создавать элементы фотовольтаических систем с различными функциональными назначениями. Например, слои оксида цинка могут выступать в качестве прозрачных проводящих электродов либо принимать непосредственное участие в разделении носителей заряда в процессе работы фотовольтаической ячейки, например в ячейках Гретцеля [21].

Проводящие слои на основе оксида цинка, в основном используемые для токосъема в фотовольтаических структурах, могут быть созданы различными методами. К основным из них относятся спрей-пиролиз, золь-гель метод, химическое осаждение из паровой фазы (CVD), магнетронное распыление, молекулярно-лучевая эпитаксия, лазерная абляция и др. [22–29]. Одним из наиболее перспективных с точки зрения возможности получения структур с большими площадями является спрей-пиролиз водно-спиртовых растворов. Спрей-пиролиз — метод получения порошков и тонких пленок, основанный на термическом разложении аэрозоля раствора, содержащего ионы синтезируемого материала в близком к стехиометрии соотношении.

В данной работе рассматривается создание оксидных гетероструктур на основе ZnO для последующего применения в фотовольтаических системах. В качестве второго оксидного полупроводника был выбран оксид меди CuO ($E_g \approx 1.35$ эВ).

2. Методика

Спрей-пиролиз представляет собой простую методику с высокой воспроизводимостью результатов, позволяющую получать тонкие пленки большой площади. На процесс получения пленок влияют такие факторы, как концентрация исходного раствора, температура под-

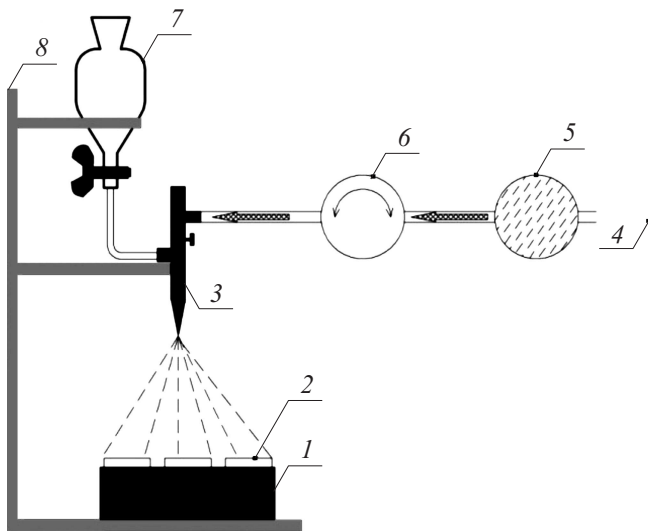


Рис. 1. Схема установки для спрей-пиролиза растворов.

ложки, скорость расхода раствора. Схема установки для формирования слоев методом спрей-пиролиза приведена на рис. 1.

На нагревательном элементе (1) расположены стеклянные подложки (2), на которые при помощи пневматического аэрографа (3) происходит распыление раствора. Газ-носитель подается при помощи компрессора (4) через фильтр (5) и регулятор давления (6). Распыляемый раствор поступает из делительной воронки (7). Аэрограф и делительная воронка закреплены в штативе (8).

Реализация метода основана на пульверизации с помощью пневматического аэрографа раствора, содержащего соли металлов, с осаждением на поверхность предварительно разогретых подложек. В качестве газа-носителя в нашей работе выступал воздух. Давление газа-носителя, контроль которого осуществлялся манометром, в эксперименте составляло 1.4 бар. Температура подложек поддерживалась на уровне 350–400°C. После операции нанесения слоя для предотвращения термоудара образцы проходили процедуру медленного охлаждения до комнатной температуры.

Образцы тонких пленок нелегированного оксида цинка получены с использованием водно-спиртового раствора соли цинка. Источником цинка служил химически чистый дигидрат ацетата цинка $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$. Использование ацетата цинка позволяет снизить загрязнение пленки оксида цинка ионами других элементов. В качестве растворителя использовались водно-спиртовые растворы с соотношением объемных долей воды и изопропилового спирта 1:3. Указанное соотношение выбрано с целью уменьшения сопротивления получаемых слоев оксида цинка, так как использование чистых водных растворов приводит к формированию высокоомных структур. Во избежание образования хлопьев гидроксида цинка, образующегося в результате гидролиза соли, к раствору добавлялось небольшое количество ледяной уксусной кислоты (1 об%), в результате чего

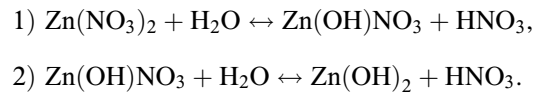
раствор оставался прозрачным на протяжении процесса пиролиза. Концентрация основного компонента (ацетата цинка) во всех опытах составила 0.1 моль/л. В качестве подложек были выбраны Si и SiO_2 .

Для определения оптимального времени пульверизации раствора и зависимости толщины пленки от времени пиролиза в одном технологическом процессе была получена серия образцов с различным временем пиролиза аэрозоля.

В отличие от формирования слоев ZnO для осаждения пленок CuO методом спрей-пиролиза использовалась температура 240°C.

Гидротермальный синтез — это метод основанный на способности воды и водных растворов растворять при высоких температуре и давлении вещества, практически нерастворимые в обычных условиях. Основными параметрами гидротермального синтеза, определяющими свойства образующихся продуктов, являются начальное значение pH среды, продолжительность и температура синтеза, величина давления в системе. Синтез осуществлялся в автоклавах, представляющих собой герметичные стальные цилиндры, способные выдерживать высокие температуры и давление в течение длительного времени.

Для синтеза ZnO в водном растворе может быть использована любая соль цинка (нитрат, хлорид, ацетат и т. д.). В данных экспериментах использовался нитрат цинка $Zn(NO_3)_2$. Так как нитрат цинка — это соль сильной кислоты и слабого основания, то реакция гидролиза для нее протекает в две стадии:



При растворении образуются ионы цинка, их взаимодействие с гидроксид-ионами приводит к образованию неустойчивого $Zn(OH)_2$, переходящего по реакции $Zn(OH)_2 \rightarrow ZnO_{solid} + H_2O$ в оксид цинка. Концентрация каждого реагента в растворе, используемом для роста наностержней, составляла 25 ммоль/л. Образцы помещались в раствор и выдерживались в термостате при 85°C в течение 1 ч. По окончании процедуры роста наностержней образцы промывались дистиллированной водой и сушились на воздухе. Использование гексаметилентетрамина (ГМТА, $(CH_2)_6N_4$) снижает температуры синтеза ниже 100°C, что позволяет отказаться от применения автоклавов.

Полученные в работе слои были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа (РЭМ) TESCAN MIRA с электронной пушкой на основе катода с полевой эмиссией (катода Шоттки) при ускоряющем напряжении 10 и 20 кВ. Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) проводился на приставке с интегрированным энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments.

Также были проведены комплексные исследования образцов с помощью специальных методик атомно-силового микроскопа (АСМ) (NTEGRA Thermo NT-MDT) [30–33]. Для проведения исследований материалов с различными свойствами предъявляются

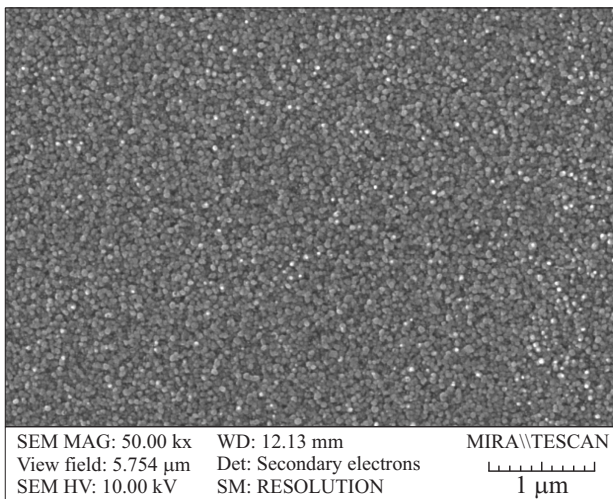


Рис. 2. РЭМ-изображение пленки ZnO.

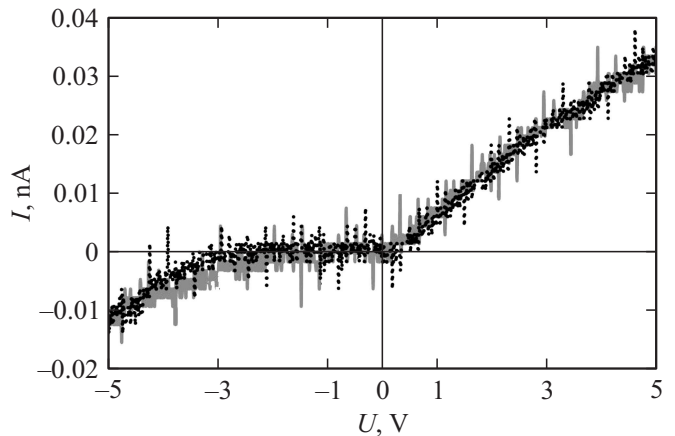


Рис. 3. Локальная вольт-амперная характеристика пленки ZnO. Черным цветом отображена ВАХ, измеренная при подаче напряжения от -5 до +5 В, серым — от +5 до -5 В.

специальные требования к рабочим параметрам зондов и методикам на основе АСМ [34], поэтому в работе использовались зондовые датчики с алмазоподобным покрытием DCP11 со следующими параметрами:

- 1) размер чипа: $3.6 \times 1.6 \times 0.4$ мкм;
- 2) наличие двух прямоугольных кантилеверов;
- 3) радиус закругления острия: ~ 100 нм;
- 4) высота зонда: 10–15 мкм;
- 5) длина кантилевера: 100 ± 5 мкм;
- 6) ширина кантилевера: 35 ± 5 мкм;
- 7) толщина кантилевера: 1.7–2.3 мкм;
- 8) сопротивление проводящего покрытия: $0.5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Электрофизические свойства образцов исследовались с помощью атомно-силового микроскопа в режиме отображения сопротивления растекания [35,36].

Режим отображения сопротивления растекания (SSRM). Это один из контактных режимов АСМ, при котором измерение выполняется проводящим зондом при постоянной силе его прижима (изгиб кантилевера) к исследуемой поверхности, при этом одновременно с рельефом регистрируется карта распределения тока по поверхности исследуемого материала [37].

Толщина пленок исследовалась методом эллипсометрии тонких пленок. Спектры полученных структур изу-

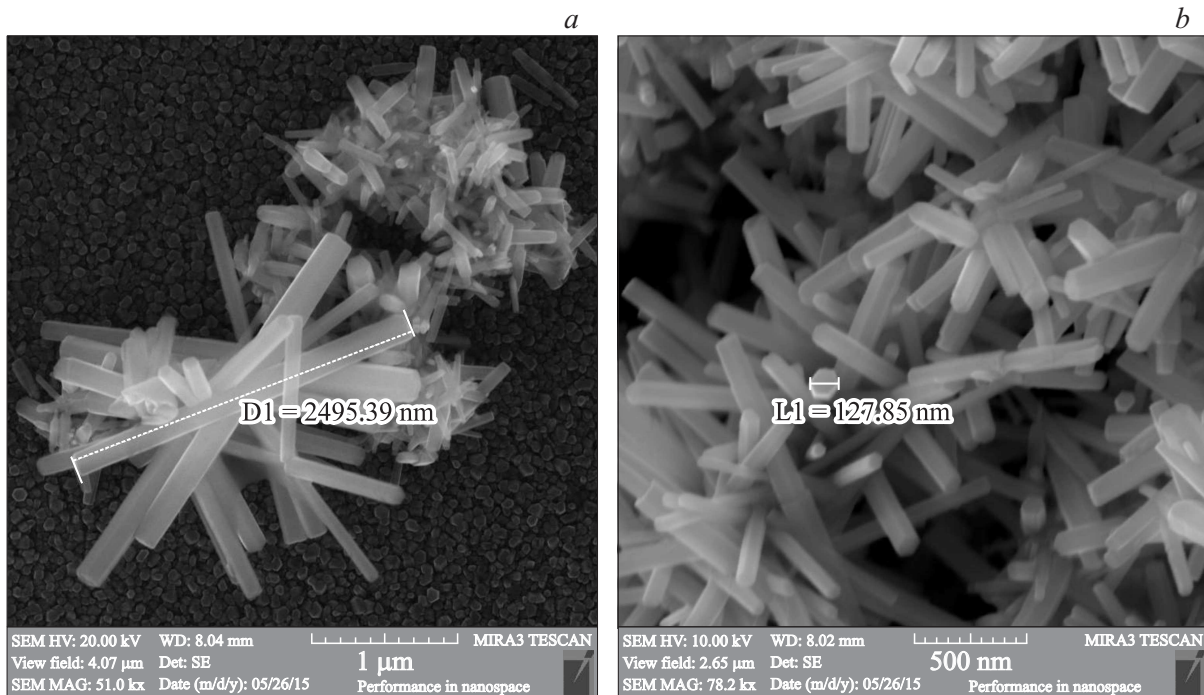


Рис. 4. РЭМ-изображения массива наностержней ZnO.

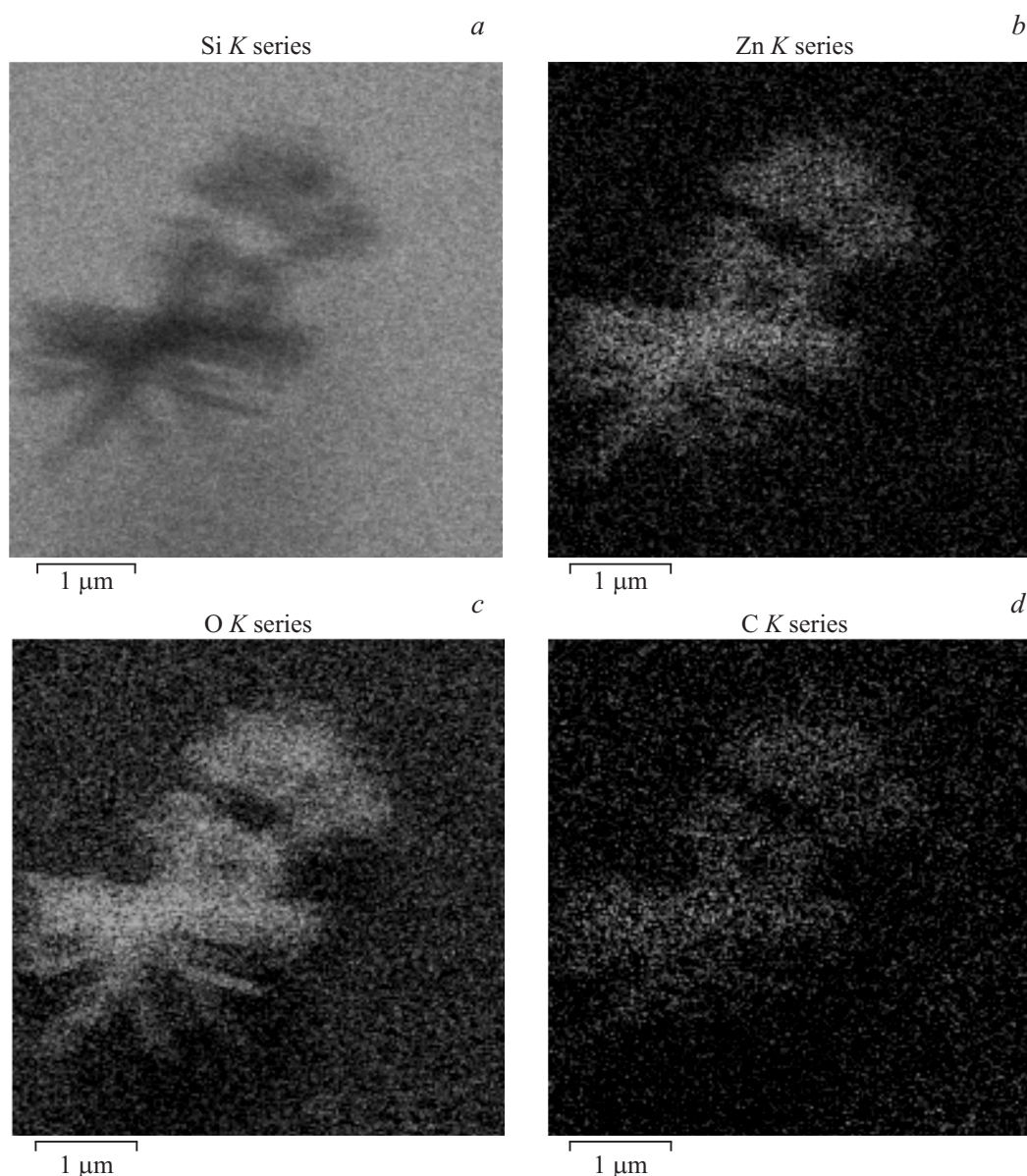


Рис. 5. PCMA-изображения наностержней ZnO.

ченны с помощью спектрофотометра видимого и ближне-го ультрафиолетового диапазонов ПЭ-5400 УФ.

3. Результаты и их обсуждение

Оптимальный температурный диапазон разложения аэрозоля для метода спрей-пиролиза составляет 350–400°C. В данном температурном интервале происходит испарение растворителя до того, как микрокапли аэрозоля достигают поверхности. Микрокристаллы осаждаются на подложку и разлагаются на ней. В результате получают плотные поликристаллические пленки оксида цинка сферической и гексагональной формы кристаллитов (рис. 2), размеры которых составляют порядка 50–550 нм в зависимости от условий синтеза.

Экспериментально установлено, что уменьшение температуры синтеза приводит к смене механизма пиролиза аэрозоля [23]. При этом на подложке изменяются условия роста, что провоцирует рост чешуеобразных кристаллов.

Исследование полученных пленок методом сканирующей микроскопии сопротивления растекания показало увеличение значения тока, протекающего по границам зерен. Мы связываем увеличение проводимости вблизи границ зерен с большим количеством донорных дефектов, а также увеличенной концентрацией носителей заряда вблизи поверхности кристаллических зерен.

В рамках работы с помощью атомно-силового микроскопа были измерены локальные вольт-амперные характеристики (ВАХ). На рис. 3 приведена локальная ВАХ в области центра одного из кристаллитов.

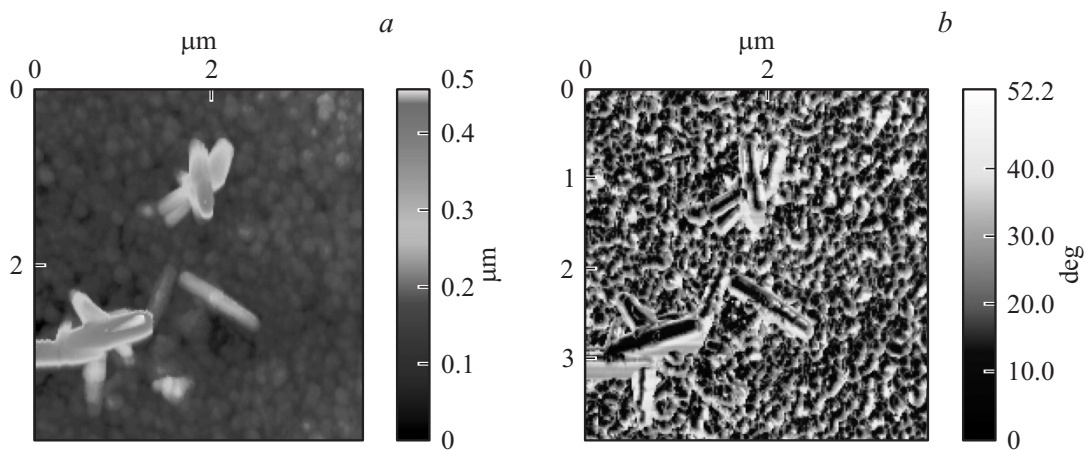


Рис. 6. АСМ-изображения наностержней ZnO: *a* — топография, *b* — изображение фазового контраста.

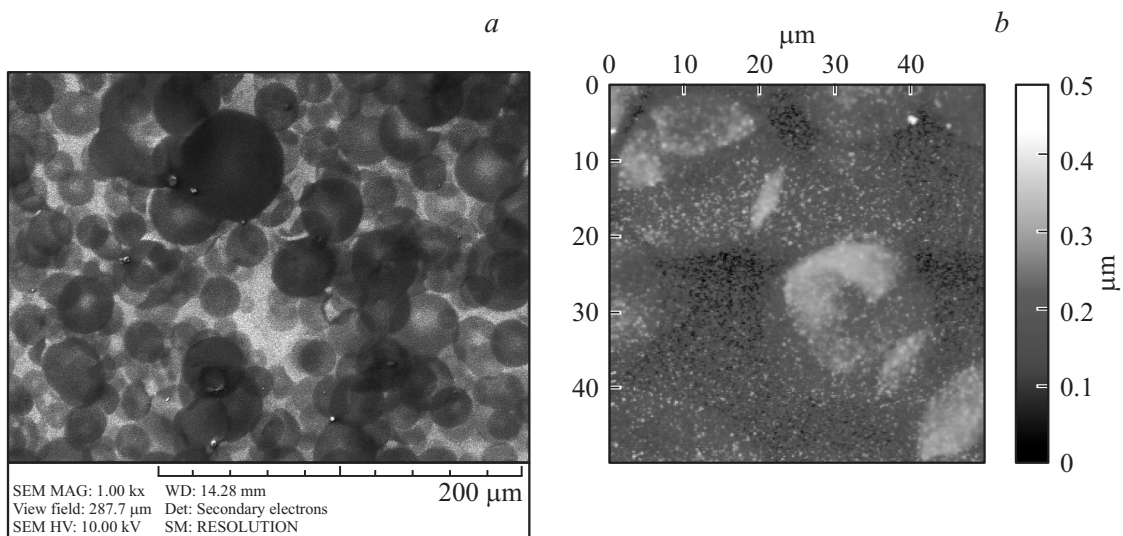


Рис. 7. РЭМ-изображение (*a*) и АСМ-топография (*b*) ZnO–CuO.

Из теоретической работы [38] следует, что туннелирование носителей заряда затруднено из-за соответствующего положения уровня Ферми в металле (зонд), когда уровень Ферми в полупроводнике (диэлектрике) находится в запрещенной зоне. Как следует из ВАХ (см. рис. 3), ширина энергетического зазора близка к значению ширины запрещенной зоны для объемного ZnO (3.37 эВ). Кроме того, можно заключить, что нелегированные слои имеют проводимость *n*-типа (уровень Ферми практически совпадает с дном зоны проводимости).

Увеличение эффективности фотовольтаических элементов тесно связано с увеличением площади границы раздела, ответственной за разделение носителей заряда. В *p*–*n*-переходах и гетеропереходах разделение носителей заряда осуществляется за счет внутреннего электрического поля на границе раздела областей (фаз). При этом перспективным направлением

формирования фотовольтаических элементов является увеличение площади контакта за счет создания „объемного“ гетероперехода. Такие структуры удастся формировать на основе одномерных наноструктур оксида цинка.

Одномерные наноструктуры оксида цинка, выращенные на подслое ZnO, были исследованы с помощью растровой электронной микроскопии. Установлено (см. рис. 4), что полученные нанокристаллы имеют гексагональную огранку, их длина составляет 2–2.5 мкм, а расстояние между противоположными гранями равно 100–150 нм.

Элементный состав полученных образцов, исследованный методом РСМА (рис. 5), позволяет утверждать, что полученные структуры в основном состоят из нанокристаллов ZnO, на поверхности которых адсорбированы органические вещества, используемые в процессе синтеза.

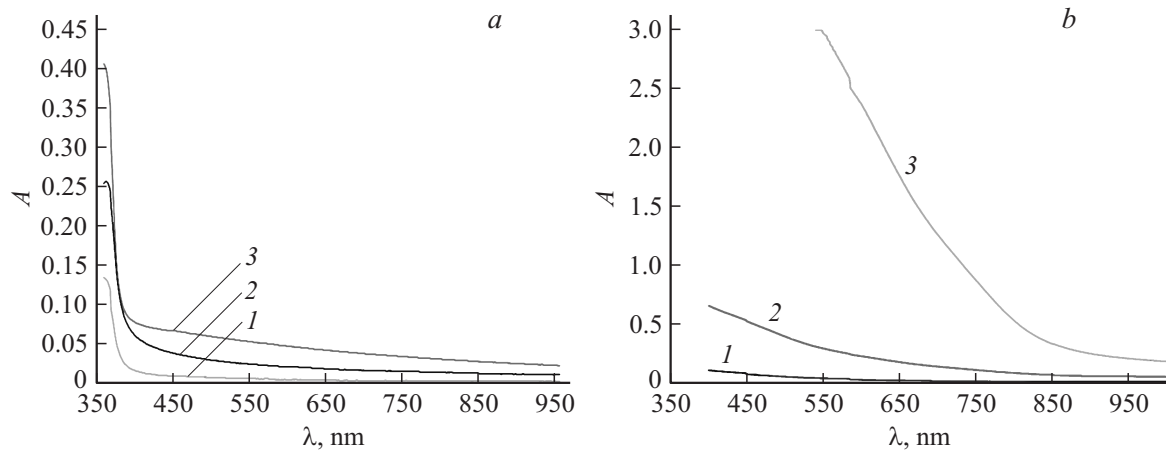


Рис. 8. Зависимости оптической плотности пленок ZnO (а) и CuO (б) от времени нанесения, мин: 1 — 5, 2 — 10, 3 — 20 — для ZnO и 1 — 1, 2 — 10, 3 — 30 — для CuO.

Исследование полученных структур проводилось с помощью АСМ в режиме отображения фазы. В данном режиме зондовый датчик приводится в колебательное движение на собственной резонансной частоте кантилевера, при этом колеблющийся кантилевер касается поверхности образца и испытывает взаимодействие отталкивающих, адгезионных, капиллярных и других сил. Одновременно регистрируется изменение не только амплитуды колебаний кантилевера, но и сдвиг фазы. Если поверхность образца является неоднородной по своим свойствам, соответствующим будет и фазовый сдвиг [39]. На рис. 6 приведены результаты такого испытания.

Нанесение оксида меди методом спрей-пиролиза на слой оксида цинка показало возможность применения данного метода для создания фотовольтаических гетероструктур ZnO–CuO. Микрофотография полученных структур приведена на рис. 7,а. От неравномерности слоя оксида меди (рис. 7,а) можно избавиться при помощи увеличения времени пиролиза медных аэрозолей. Сплошные покрытия достигаются при временах распыления 8–10 мин. Дальнейшее увеличение времени распыления приводит к увеличению толщины слоя оксида меди, потере сплошности контакта ZnO–CuO и растрескиванию всей структуры. Данные электронной микроскопии подтверждаются методом АСМ (рис. 7, б). Результаты исследований оксидов цинка и меди методом оптической спектроскопии приведены на рис. 8.

Исследование спектров полученных пленок оксида цинка показало, что образцы являются прозрачными в видимом диапазоне, что позволяет их применять в качестве прозрачных электродов. Собственное оптическое поглощение в пленках ZnO наблюдается при длинах волн в диапазоне 280–300 нм. Для CuO анализ спектров оптического пропускания света в диапазоне длин волн 500–1000 нм показал, что наблюдаемая оптическая плотность образцов пропорциональна времени осаждения пленки. Соответственно толщина слоя

CuO прямо пропорциональна времени синтеза, а эффективное поглощение света слоем CuO, полученным методом спрей-пиролиза, наблюдается при длинах волн более 750 нм.

4. Заключение

Представленные результаты являются важным этапом развития технологии солнечных элементов нового поколения, в которых наноструктуры оксида цинка должны входить в состав гетероструктуры, включающий оксиды других металлов.

Использование двух оксидных полупроводников позволит обеспечить экологичность в процессе производства, эксплуатации и утилизации фотовольтаических элементов. Использование дешевых экологически чистых материалов и технологий позволит снизить себестоимость конечного продукта. Такие разработки могут быть применены во многих областях науки и техники, включая smart-одежду для военнослужащих и специалистов, работающих в труднодоступных районах.

Из полученных результатов следует, что метод спрей-пиролиза является эффективным для получения слоев оксидов цинка и меди с хорошо сформированной кристаллической структурой и необходимыми электрофизическими свойствами. Гидротермальный синтез позволяет выращивать наностержни оксида цинка длиной 2–2.5 мкм, что позволяет увеличить площадь активного гетероперехода в десятки раз.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-12-00327).

Авторы выражают благодарность Л.Б. Матюшкину, П.А. Сомову и А.В. Старцевой за консультации в области спрей-пиролиза, а также за помощь в исследовании полученных материалов методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.

Список литературы

- [1] M. Zi, M. Zhu, L. Chen. *Ceramics Intern.*, **40**, 7965 (2014).
- [2] Д.Ю. Паращук, А.И. Кокорин. *Рос. хим. журн.*, **LI** (6), 107 (2008).
- [3] О.П. Чикалова-Лузина, А.Н. Алешин, В.М. Вяткин. *ПЖТФ*, **42** (3), 38 (2016).
- [4] А.В. Саченко, Ю.В. Крюченко, А.В. Бобыль, В.П. Костылев, Е.И. Теруков, Д.А. Богданов, И.Е. Панайотти, И.О. Соколовский, Д.Л. Орехов. *ПЖТФ*, **41** (10), 42 (2015).
- [5] Ш.Р. Адиллов, М.Е. Кумеков, С.Е. Кумеков, Е.И. Теруков. *ФТП*, **47** (5), 642 (2013).
- [6] О.Л. Лисицкий, М.Е. Кумеков, С.Е. Кумеков, Е.И. Теруков. *ФТП*, **43** (6), 794 (2009).
- [7] Б.М. Верменичев, О.Л. Лисицкий, М.Е. Кумеков, С.Е. Кумеков, Е.И. Теруков, С.Ж. Токмолдин. *ФТП*, **41** (3), 298 (2007).
- [8] C.F. Klingshirn, B.K. Meyer, A. Waag, A. Hoffman, J. Geurts. *Zinc Oxide. From Fundamental Properties towards Novel Applications* (Springer, 2010).
- [9] C. Jagadish, S.J. Pearton. *Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures: Processing, Properties, and Applications* (Elsevier Science, 2006).
- [10] M. Saleem, L. Fang, A. Wakeel, M. Rashad, C.Y. Kong. *World J. Condens. Matter Phys.*, **2**, 10 (2012).
- [11] N. Kaneva, L. Krasteva, D. Dimitrov, A. Bojinova, K. Papazova, A. Ponomareva, G. Suchanek, V. Moshnikov. *Bulgarian Chem. Commun.*, **45** (4), 635 (2013).
- [12] S.Zh. Tokmoldin, B.N. Mukashev, N.B. Beisenkhanov, A.B. Aimagambetov, I.V. Ovcharenko. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **864** 39 (2005).
- [13] A.S. Komolov, P.J. Moller, S.A. Komolov, E.F. Lazneva, J. Mortensen. *Surf. Sci.*, **586** (1–3), 129 (2005).
- [14] С.С. Карпова, В.А. Мошников, А.И. Максимов, С.В. Мякин, Н.Е. Казанцева. *ФТП*, **47** (8), 1022 (2013).
- [15] А.С. Божинова, Н.В. Канева, И.Е. Кононова, С.С. Налимова, Ш.А. Сюлейман, К.И. Папазова, Д.Ц. Димитров, В.А. Мошников, Е.И. Теруков. *ФТП*, **47** (12), 1662 (2013).
- [16] И.А. Мясников, В.Я. Сухарев, Л.Ю. Куприянов, С.А. Завьялов. *Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях* (М., Наука, 1991).
- [17] S.S. Карпова, V.A. Moshnikov, S.V. Mjakin, E.S. Kolvangina. *Semiconductors*, **47** (3), 392 (2013).
- [18] И.А. Пронин, Н.В. Канева, А.С. Божинова, И.А. Аверин, К.И. Папазова, Д.Ц. Димитров, В.А. Мошников. *Кинетика и катализ*, **55** (2), 176 (2014).
- [19] И.Е. Грачева, А.И. Максимов, В.А. Мошников. *Поверхность. Рентген-, синхротрон. и нейтрон. исслед.*, **10**, 16 (2009).
- [20] Г.К. Чудинова, И.А. Наговицын, Т.Т. Гаджиев, В.В. Данилов, В.А. Мошников, С.С. Налимова, И.Е. Кононова, В.В. Курилкин. *Докл. АН*, **456** (2), 174 (2014).
- [21] Y. Fu, J. Sun, Y. Xieet. *Mater. Sci. Eng. B*, **166**, 196 (2010).
- [22] E.V. Abrashova, I.E. Kononova, V.A. Moshnikov. *Smart Nanocomposites*, **4** (2), 1 (2013).
- [23] Н.А. Лашкова, А.И. Максимов, Л.Б. Матюшкин, В.А. Мошников, А.А. Рябко, П.А. Сомов, С.С. Туленин. *Бутлеровские сообщ.*, **42** (4–6), 48 (2015).
- [24] А.А. Бобков, А.И. Максимов, В.А. Мошников, П.А. Сомов, Е.И. Теруков. *ФТП*, **49** (10), 1402 (2015).
- [25] В.А. Мошников, Ю.М. Таиров, Т.В. Хамова, О.А. Шилова. *Золь-гель технология микро- и нанокмполитов: Учеб. пособие* (СПб., Лань, 2013).
- [26] А.И. Максимов, В.А. Мошников, Ю.М. Таиров, О.А. Шилова. *Основы золь-гель технологии нанокмполитов*. 2-е изд. (СПб., ООО „Техномедиа“ / Изд-во „Элмор“, 2008).
- [27] В.А. Жабрев, В.А. Мошников, Ю.М. Таиров, А.А. Федотов, О.А. Шилова. *Золь-гель технология: Учеб. пособие* (СПб., Изд-во СПбГЭТУ „ЛЭТИ“, 2004).
- [28] Л.В. Подрезова. Автореф. канд. дис. (Алматы, 2013).
- [29] С.И. Рембеза, Н.Н. Кошелева, Е.С. Рембеза, Т.В. Свистова, Е.Ю. Плотникова, E. Suvaci, E. Ozel, G. Tunçolı, C. Cıksarı. *ФТП*, **48** (8), 1147 (2014).
- [30] П.А. Арутюнов, А.Л. Толстихина, В.Н. Демидов. *Завод. лаб. Диагностика материалов*, **65** (9), 27 (1999).
- [31] К.Л. Сорокина, А.Л. Толстихина. *Поверхность. Рентген-, синхротрон. и нейтрон. исслед.*, **9**, 32 (2006).
- [32] А.Л. Толстихина, Р.В. Гайнутдинов, М.Л. Занавескин, К.Л. Сорокина, Н.В. Белугина, Ю.В. Грищенко. *Поверхность. Рентген-, синхротрон. и нейтрон. исслед.*, **9**, 48 (2008).
- [33] Н.А. Лашкова, Н.В. Пермяков, А.И. Максимов, Ю.М. Спивак, В.А. Мошников. *НТВ СПбГПУ. Физ.-мат. науки*, **1** (213), 31 (2015).
- [34] Н.В. Пермяков. *Молодой ученый*, **12**, 10 (2012).
- [35] Y.M. Spivak, V.A. Moshnikov. *J. Surf. Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, **4** (1), 71 (2010).
- [36] I.E. Gracheva, Yu.M. Spivak, V.A. Moshnikov. *IEEE Eurocon-2009 (Eurocon-2009, St. Petersburg, 2009)* p. 1246.
- [37] В.А. Мошников, Ю.М. Спивак, П.А. Алексеев, Н.В. Пермяков. *Атомно-силовая микроскопия для исследования наноструктурированных материалов и приборных структур* (СПб., Изд-во СПбГЭТУ „ЛЭТИ“, 2014).
- [38] С.А. Рыков. *Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур* (СПб., Наука, 2001).
- [39] <http://www.ntmdt.com/>

Редактор А.Н. Смирнов

Synthesis of ZnO nanostructures for heterostructure solar cells

N.A. Lashkova*, A.I. Maximov*, A.A. Ryabko*, A.A. Bobkov*, V.A. Moshnikov*+•, E.I. Terukov*♦

* St. Petersburg Electrotechnical University „LETI“, 197376 St. Petersburg, Russia

+ St. Petersburg State Polytechnic University (SPBSTU) in Russia, 195251 St. Petersburg, Russia

• The Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, 173003 Veliky Novgorod, Russia

♦ Ioffe Institute, 194021 St. Petersburg, Russia

Abstract In this paper a model of heterostructure solar cell based on ZnO and CuO is developed. Layers of zinc oxide and copper oxide are synthesized by spray pyrolysis. ZnO nanorods are grown by hydrothermal synthesis to form the bulk heterojunction. The morphological, electrical and optical properties of these structures are studied.