

**О. И. Тюленкова, В. В. Сидский, А. В. Семченко,
В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, Г. Е. Айвазян**
г. Гомель, ГГУ имени Ф. Скорины

МОДИФИЦИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР ZnO ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Введение

Важной особенностью ZnO является относительная простота получения самых разнообразных наноструктур, наночастиц размером от несколько десятков нанометров до разнообразных столбчатых структур микрометровой длины. Дополнительный потенциал для использования массивов столбчатых структур как элементной базы функциональных устройств дает модифицирование их физических свойств, что может осуществляться, например, легированием затравочного слоя для ориентированного синтеза этих структур, а также путем нанесения на их поверхность наночастиц металлов.

Наноструктурированный оксид цинка (ZnO) является широко используемым технологическим материалом благодаря своей доступности, невысокой цене, химической стабильности, биосовместимости и уникальному сочетанию химических и физических свойств. В частности, наноструктуры ZnO используются в конструкциях газовых датчиков, суперконденсаторов, твердотельных, гибридных и органических солнечных элементов, светоизлучающих диодов, инструментов для биохимического зондирования, ультрафиолетовых лазеров, высокопроизводительных наносенсоров, пьезоэлектрических наногенераторов, коротковолновых светоиспускающих оптоэлектронных наноустройств.

Одним из важнейших результатов МЭМС-технологий является создание на их основе нового класса разнообразных датчиков: высокочувствительных, быстродействующих, при высокой степени интеграции, с малыми размерами и низкой стоимостью. Размер МЭМС уменьшается от года к году открывая новые перспективы для их использования. Уже сегодня множество элементов конструкции МЭМС лежит в нанодиапазоне [1–2]. Таким образом, поиск способов увеличения эффективности работы МЭМС является важной научно-технической задачей.

Экспериментальная часть

Для анализа строения и морфологии полученных нанообъектов использовались методы оптической и сканирующей электронной микроскопии.

Синтез наноструктурированных слоев оксида цинка проводился низкотемпературным гидротермальным методом. В основе гидротермального синтеза оксида цинка лежит следующая реакция:

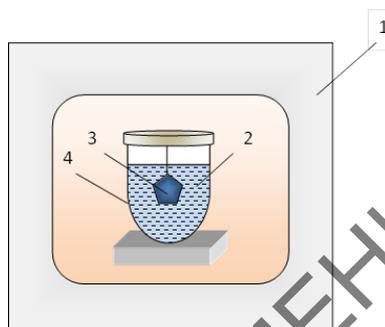


Выращивание столбчатых наноструктур оксида цинка происходило в два этапа. Вначале на подложки золь-гель методом нанесли затравочный слой. В качестве подложек использовались полированные пластины кремния, стеклянные пластины и пластины ниобата лития. Все подложки предварительно были тщательно очищены с помощью ультразвука. Тонкие плёнки ZnO были получены при использовании золя, полученного путём растворения 1,5 г ацетата цинка $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ в 8 мл изопропилового спирта. Созревание золя происходило в течение 2–3 суток при комнатной температуре (22 ± 2) °C. Изопропиловый спирт использовался в качестве жидкой среды для поддержания стабильности раствора и создания необходимой вязкости. Для получения легированных плёнок оксида цинка использовались нитраты алюминия, меди и серебра в количестве 2 масс. %.

Плёнки ZnO на подложки наносили методом центрифугирования. Золь наносился на подложку дозатором и с помощью центрифуги распределялся по поверхности. Частота

вращения подложки составляла 2000 об/мин. После этого подложки помещались в муфельную печь и выдерживались при температуре 250 °С в течение 5 минут. Финишный отжиг, который проводился при температуре 350 °С в течение 60 минут в муфельной печи, приводил к формированию равномерной пленки ZnO на поверхности подложки. Типичная толщина одного слоя по данным электронной микроскопии составляла порядка 30–40 нм. Для некоторых образцов нанесение затравочного слоя проводилось дважды и трижды.

Для синтеза столбчатых наноструктур оксида цинка использовали химическое осаждение из растворов солей цинка. В качестве источника гидроксильной группы использовался этилендиамин. В реакционный стакан помещали 1 мл этилендиамина в 200 мл дистиллированной воды. Далее при постоянном перемешивании по каплям к раствору этилендиамина добавляли 0,2 молярный водный раствор ацетата цинка $Zn(CH_3COOH)_2$ до установления pH 8,5. В получившуюся смесь опускали образцы с нанесенным зародышевым слоем ZnO. Подложки располагали в реакционных сосудах вертикально (рисунок 1).



1 – сушильный шкаф; 2 – рабочий раствор; 3 – подложка; 4 – реакционный сосуд

Рисунок 1 – Схема установки для гидротермального синтеза

Реакционный сосуд в закрытом виде помещали на 2 ч в сушильный шкаф при температуре 90–100 °С. По окончании синтеза образцы осторожно промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе.

Результаты и обсуждение

В ходе гидротермального синтеза массивов столбчатых наноструктур были получены сфероподобные структуры, состоящие из совокупности столбчатых структур, обладающих повышенной долей площади поверхностей нанокристаллов оксида цинка, что представляет практический интерес для катализа, фотокатализа и газочувствительных сенсоров (2–5).

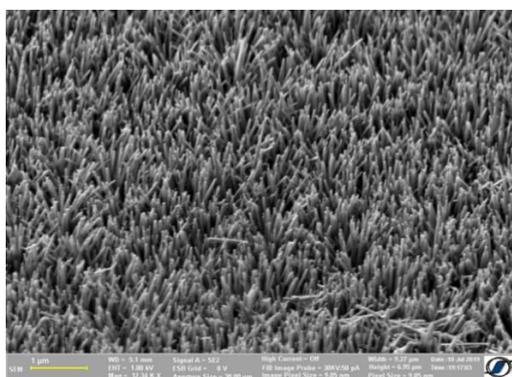


Рисунок 2 – СЭМ изображение упорядоченного массива наностержней ZnO, выращенного на кремниевой подложке с затравочным слоем ZnO/Ag

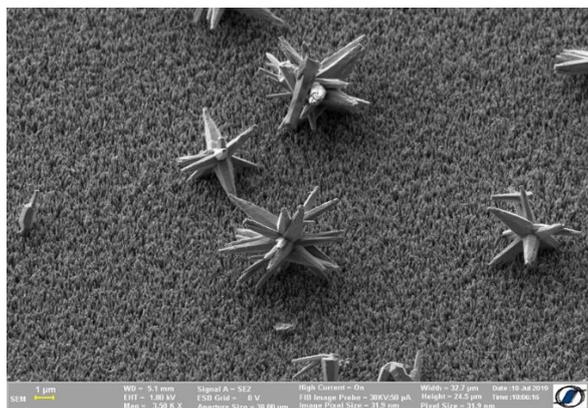


Рисунок 3 – СЭМ изображение упорядоченного массива наностержней ZnO, выращенного на стеклянной подложке с затравочным слоем ZnO/Ag

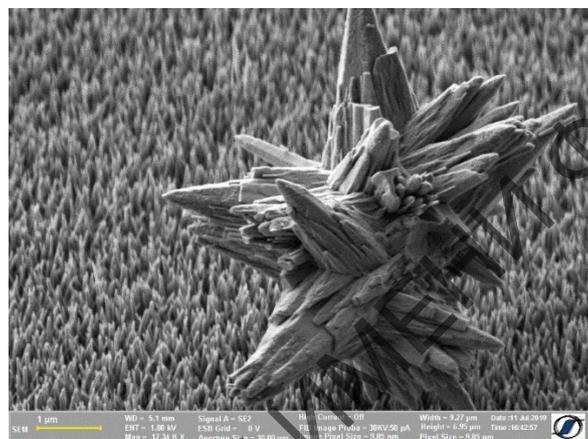


Рисунок 4 – СЭМ изображение упорядоченного массива наностержней ZnO, выращенного на кремниевой подложке с затравочным слоем ZnO/Cu

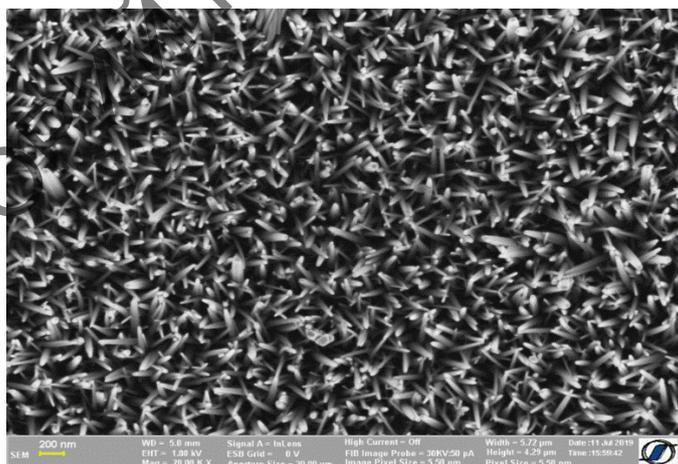


Рисунок 5 – СЭМ изображение упорядоченного массива наностержней ZnO, выращенного на стеклянной подложке с затравочным слоем ZnO/Cu

Согласно данным элементного микроанализа установлено содержание легирующих элементов Al, Cu и Ag в синтезируемых структурах на уровне 0,04–2,0 ат. %.

Методы получения высокодисперсных форм оксида цинка через химическое осаждение и термолиз термически нестабильных соединений имеют широкие химические и

технологические возможности и, вследствие этого, большие возможности выбора в применении к конкретной задаче. Варьирование природы прекурсоров, модифицирующих веществ и условий позволяет синтезировать дисперсные формы ZnO с различной морфологией и размерами.

Модифицирование физических свойств массивов столбчатых структур легированием затравочного слоя, на котором они синтезированы, дает дополнительный потенциал их для использования как элементной базы функциональных устройств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ в рамках научных проектов №Т19МЛДГ-008 и Т20РА-019.

Список использованных источников

1 Wu, W. Piezotronic Nanowire-Based Resistive Switches As Programmable Electromechanical Memories. / W. Wu, Zh. L. Wang. // Nano Letters. – 2011. – № 11(7). – P. 2779–2785.

2 Poole, C. P. Introduction to Nanotechnology / C. P. Poole, F. J. Owens. – New Jersey : Wiley-interscience. – 2003. – 388 p.