

испарение, изменение кристаллической структуры, либо химическими реакциями дегидратации, диссоциации. Превращения, которые при нагревании сопровождаются экзотермическими эффектами, встречаются значительно реже: это процессы окисления и некоторые структурные превращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. -2-е изд.- Новосибирск: Наука, 1986.
2. Жебентяев А.И., Жерносек А.К., Талуть И.Е. Аналитическая химия. Химические методы анализа. – Минск: Новое Знание; 2011. - 542 с.
3. Баженова Л.Н. Количественный элементный анализ органических соединений. – Екатеринбург: 2008. - 356 с.
4. Кузнецова Г.А. Качественный рентгенофазовый анализ. – Иркутск: 2005. – 28 с.

Кидалов В. В.¹, Дяденчук А. Ф.¹, Бачериков Ю. Ю.², Жук А. Г.²,
Батурин В. А.³, Рогозин И. В.¹, Филоненко М. Н.⁴,
Карпенко О. Ю.⁴, Кидалов В. В.¹

¹ Бердянский государственный педагогический университет, г. Бердянск,
Украина

² Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины,
г. Киев,

³ Институт прикладной физики НАН Украины, Украина, г. Суми

⁴ Национальный педагогический университет им. М. П. Драгоманова,
Украина, г. Киев)

ПЛЕНКИ ZnO ПОЛУЧЕННЫЕ НА МЕЗО- И МАКРОПОРИСТЫХ ПОДЛОЖКАХ Si МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Одними из самых перспективных пленочных покрытий являются прозрачные проводящие оксидные покрытия, среди которых особое место занимает оксид цинка. Повышенный интерес вызван уникальной комбинацией оптических и электрофизических свойств оксида цинка. Оксид цинка (ZnO) имеет широкое технологическое применение, в частности, в фотоприемниках, коротковолновых полупроводниковых диодных излучателях (светоизлучающих диодах), тонкопленочных солнечных элементах, сенсорах газа, фотодетекторах и др. [1-2]. На данный момент остается актуальным вопрос о получении пленок оксида цинка с заданными

функциональными характеристиками, способных найти широкое промышленное применение устройств на основе слоев ZnO.

Уже получены пленки оксида цинка разнообразными методами: термическое испарение, химическое газофазное осаждение (CVD) или струйный пиролиз и др. На ряду с перечисленными методами особое место занимает метод магнетронного распыления, который имеет ряд преимуществ.

Для получения пленок ZnO могут быть использованы подложки нитрида галлия (GaN) и карбида кремния (SiC). Однако стоимость данных подложек большого диаметра достаточно высока. С целью удешевления изготавливаемых гетероструктур с пленкой ZnO часто в качестве полупроводниковой подложки используется кремний (Si).

В последнее время ведутся попытки по получению пленок на пористой поверхности полупроводников [3], что связано с возможностью оптимизации условий размера зерна, вакансий кислорода, дефектов и т. д. Широкое применение данные гетероструктуры могут найти при изготовлении источника светодиодных чипов, излучающих белый свет (сочетания синезеленой эмиссии от ZnO с красно-оранжевой эмиссией из пористого кремния) [4]. В связи с этим представляются актуальными дальнейшие исследования процесса формирования пористой структуры в системе ZnO/Si и её влияния на упругие напряжения в системе.

Целью настоящей работы является исследование процессов формирования оксида цинка методом реактивным магнетронным ВЧ распылением на подложках кремния ориентации (100) и (111) с предварительно нанесенной системой макро- и мезопор.

Образцы макропористого кремния были получены с использованием кремниевых пластин n- и p-типа проводимости ориентации (100) и (111) с удельным сопротивлением $1,0 \div 1,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ методом электрохимического травления. Процесс анодирования проводили с использованием раствора электролита, состоящего из фтористоводородной кислоты (HF) и этанола ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) в соотношении 1: 1. Плотность тока составляла $J=31,64 \text{ мА}/\text{см}^2$.

Таблица 1. Параметры пористого Si (100)

Параметр	Значение		
Глубина пористого слоя h, м	150×10^{-6}	1.8×10^{-6}	254×10^{-9}
Диаметр пор d, м	500×10^{-9}	15×10^{-9}	20×10^{-9}
Расстояние между порами, м	$1,4 \times 10^{-6}$	10×10^{-9}	15×10^{-9}
Размер пластины, м ²	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}

Напыление пленок ZnO выполнено реактивным магнетронным ВЧ распылением цинковой мишени. Подложки закреплялись в устройстве при помощи специальных зажимов, которые осуществляли их перемещение внутри вакуумной камеры. Подложки и мишень размещали параллельно друг другу на расстоянии 0,07 м. Непосредственно перед процессом нанесения пленок вакуумная система откачивалась до уровня 10^{-3} Па. Давление O_2 в камере составляло 0,1 Па.

РЭМ-изображения поверхности и сколов образцов ZnO/porous-Si/Si демонстрируют существенное изменение морфологии поверхности после синтеза (рис. 1). Так, на поверхности образцов наблюдается структура из небольших кристаллитов.

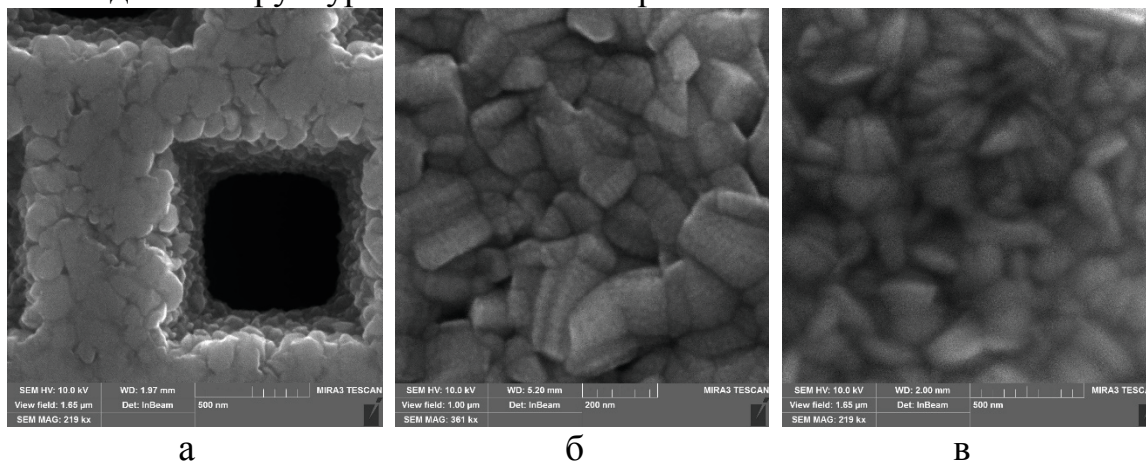


Рис. 1. РЭМ-микрофотографии поверхности пленок ZnO, полученных на поверхности: а) макропористого Si (100), б) мезопористого Si (100), в) мезопористого Si (111).

Микроэлементный анализ выполнялся в двух различных точках пленки ZnO по поверхности образца. Содержание Zn и O оказалось равным 50 % для каждого элемента со статистической погрешностью менее 5 %, что свидетельствует о высокой стехиометричности пленки ZnO на porous-Si (100).

Пленки ZnO, как в случае использования мезопористых подложек Si ориентации (100) и (111), так и макропористых Si ориентации (100), имеют поликристаллическую структуру вюрцита с предпочтительной ориентацией в направлении [0002]. Рентгенограммы имеют основной дифракционный пик (002), который наблюдается на угле $2\theta=34,64^\circ$ (рис. 2).

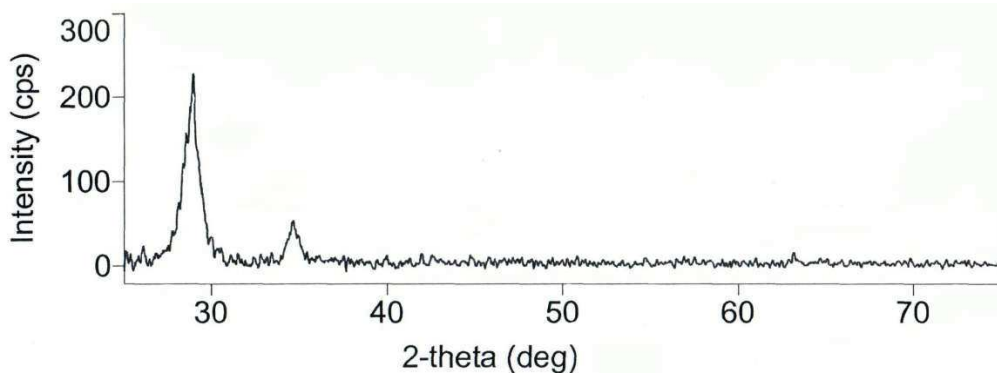


Рис. 2. Дифрактограмма пленки ZnO.

Деформация пленки ZnO, выращенной на пористом кремнии, вдоль с-оси может быть вычислена с помощью следующей формулы:

$$\varepsilon = \frac{c - c_0}{c_0} \cdot 100\%,$$

где c - постоянная решетки напряженной пленки ZnO, рассчитанная по данным XRD ($c=5,2260 \text{ \AA}$), c_0 представляет собой неустойчивую постоянную решетки для ZnO (константы решетки для гексагональной пленки ZnO приведены в стандартных данных JCPDS $c_0=5,20661 \text{ \AA}$).

Согласно проведенным расчетам деформация пленок ZnO, полученных на мезопористых подложках кремния, составляет -0,36 %. Отрицательное значение связано с деформацией сжатия. Низкое значение деформации сжатия показало, что выращенная пленка ZnO растет вдоль с-оси и свидетельствует о получении высококачественного кристалла.

В настоящей работе методом реактивным магнетронным ВЧ распылением получены пленки ZnO на подложках кремния ориентации (100) и (111) с предварительно нанесенной системой мезо- и макропор. Рентгенографические исследования ZnO показали, что она имеет поликристаллическую природу с гексагональной решеткой типа вюрцита. Средние размеры кристаллитов составили порядка 50-200 нанометров. Микроэлементный анализ выявил практически идеальную стехиометричность ZnO выращенного на porous-Si/Si.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mridha S. and Basak D. Ultraviolet and visible photoresponse properties of nZnO/p-Si heterojunction. // J. Applied Physics. 2007. Vol. 101. P. 08102
2. Structural, optical, and LED characteristics of ZnO and Al doped ZnO thin films / K. M. Sandeep, ShreeshaBhat, S. M.

Dharmaprakash // Journal of Physics and Chemistry of Solids. Volume 104, May 2017, Pages 36-44

3. ZnO-porous silicon nanocomposite for possible memristive device fabrication / LizethMartínez, Oscar Ocampo, Yogesh Kumar, and VivechanaAgarwal // Nanoscale Res Lett. 2014; 9(1): 437

4. Blue–green and red luminescence from ZnO/porous silicon and ZnO:Cu/porous silicon nanocomposite films / Fuchao Yang, Shuyi Ma, Xiaolei Zhang, Meng Zhang, Faming Li, Jing Liu, Qiang Zhao // Superlattices and Microstructures. – Volume 52, Issue 2, August 2012, Pages 210-220.

УДК 546.03; 544.778.4

К.Р. Ерагер¹, Д.В. Попова², С.И. Саунина¹,
М. А. Викулова², Е.В. Третьяченко²,
А.В. Гороховский², Ш.Ш. Ягафаров¹

(¹Челябинский государственный университет,
Челябинск, Россия, eragerk@rambler.ru

²Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия, algo54@mail.ru)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО РАСТВОРАМИ НИТРАТА ХРОМА (III)

В работе исследовалось влияние условий термообработки на фазовый состав и морфологию полититаната калия, модифицированного растворами нитрата хрома (III), при различных значениях водородного показателя (рН = 3,5,7,9). Термообработка образцов проводилась при температурах 500 и 900°С при атмосферном давлении и в условиях вакуума.

Фазовый состав образцов определялся методом рентгенофазового анализа (CuK α -излучение) с применением программного обеспечения «EVA» и картотеки PDF-2. Анализ морфологии образцов проводился по изображениям, полученным на сканирующем электронном микроскопе (JEOLJSM-6510), термогравиметрические исследования при атмосферном давлении и в атмосфере аргона с использованием совмещенного синхронного термического анализа (STA 449 F5 *Jupiter*). Термообработка образцов в условиях вакуума проводилась при давлении $2 \cdot 10^{-1}$ Па.