

УДК 621.373

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ПЛЕНОК
ОКСИДОВ ЦИНКА И ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ**

Лапицкая В.А.¹, Баган Н.П.², Венскевич Н.Н.², Козуля А.А.², Щербакowa Е.Н.², Юсупов Ф.Т.³

¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси,

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

³Ферганский политехнический институт

Фергана, Республика Узбекистан

Аннотация. Сегодня ученые в ведущих мировых исследовательских центрах получают тонкие слои на основе полупроводниковых монокристаллических подложек, совершенствуют технологии получения, определяют их оптимальные условия, исследуют структурные и уникальные физические свойства полученных тонких слоев и ведут научные исследования, расширяют спектры поглощения света гетероструктур, чувствительных к газу, температуре и давлению, работают над созданием электронных устройств. В работе обсуждаются результаты исследования гетероструктур на основе оксидов цинка, полученных методом вакуумного испарения.

Ключевые слова: полупроводниковая подложка, оксид цинка, гетероструктура.

**TECHNOLOGY FOR OBTAINING AND STUDYING THE CHARACTERISTICS OF THIN FILMS
OF ZINC OXIDES AND HETEROSTRUCTURES BASED ON THEM**

Lapitskaya V.¹, Bagan N.², Vintskevich N.², Kozulya A.², Shcherbakova E.², Yusupov F.³

¹A. V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus

²Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

³Fergana Polytechnic Institute

Ferghana, Republic of Uzbekistan

Abstract. Today, scientists in the world's leading research centres produce thin layers based on semiconductor single-crystal substrates, improve production technologies, determine their optimal conditions, investigate the structural and unique physical properties of the resulting thin layers and conduct scientific research, expand the light absorption spectra of heterostructures sensitive to gas, temperature and pressure, work on creating electronic devices. The paper discusses the results of the study of heterostructures based on zinc oxides obtained by vacuum evaporation.

Keywords: semiconductor substrate, zinc oxide, heterostructure.

Адрес для переписки: Щербакowa Е.Н., ул. Я. Коласа, 22, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: scherbakova@bntu.by

Тонкие пленки металлов и их соединений, формируемые в вакууме, находят широкое применение в производстве дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС).

Получение высококачественных и воспроизводимых по электрофизическим параметрам тонкопленочных слоев является одним из важнейших технологических процессов формирования структур как дискретных диодов и транзисторов, так и активных и пассивных элементов ИМС. Поэтому надежность и качество микроэлектронных изделий, технический уровень и экономические показатели их производства во многом зависят от совершенства процесса нанесения пленки [1].

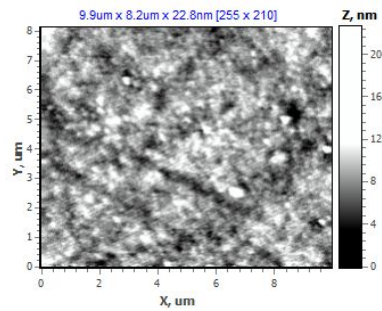
Важным этапом является контроль параметров пленки (скорости осаждения, толщины и однородности, поверхностного сопротивления), что осуществляется с помощью специального оборудования, либо во время отдельной технологической операции, либо в конце процесса.

Методика и результаты эксперимента. Для получения тонких пленок в данной работе

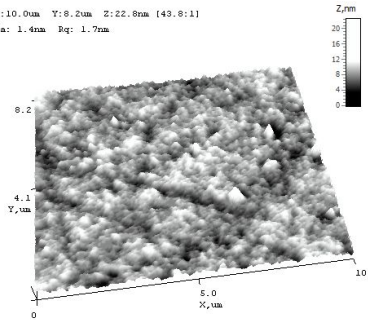
использовали вакуумный универсальный пост ВУП-5, который дает возможность для проведения резистивного испарения материалов, нагрева исследуемого вещества до высоких температур, получения многослойных покрытий, испарения многокомпонентных веществ. Установка с помощью механического и диффузионного насосов создает высокий вакуум, в условиях которого осуществляется испарение веществ путем их нагревания при пропускании тока через вольфрамовые испарители.

Пленки ZnO нанесены на подложки из никеля (Ni) или стекла в вакууме при температуре 2250–2400 °С. Температуру подложек варьировали в пределах 80–450 °С. Скорость формирования пленок при температурах испарения составляет 10–15 Å/с.

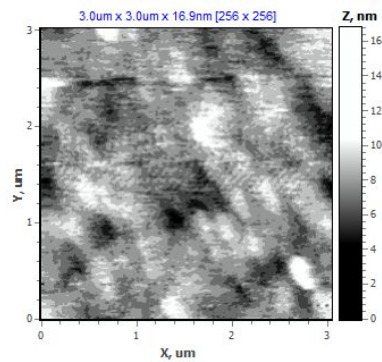
Электронно-графическим методом установлено, что свеженапыленные пленки обладают аморфной структурой, в которых при последующих отжигах при температуре 350–400 °С и в течение не менее 3 часов, возникают кристаллические фазы с гексагональной решеткой, параметры которой составляют; $a = 7,835$ Å и $c = 15,91$ Å.



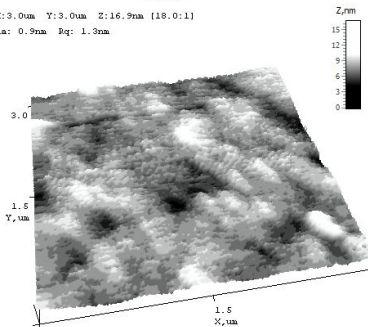
X: 10.0um Y: 9.2um Z: 22.8nm (43.8:11)
Ra: 1.4nm Rq: 1.7nm



a



X: 3.0um Y: 3.0um Z: 16.9nm (18.0:11)
Ra: 0.9nm Rq: 1.3nm



б

Рисунок 1 – АСМ-изображения поверхности пленок ZnO (*a*, *б* – в поле 10 мкм² и 3 мкм², соответственно

Исследование морфологии поверхности и толщины исследуемых образцов осуществлялось методами атомно-силовой микроскопии на АСМ НТ-206 (ОАО «Микротестмашины», г. Гомель, Беларусь) и стандартный кремниевый кантилевер NSC-11 (Микромаш, Эстония) с жесткостью консоли 3 Н/м и радиусом закругления острия 10 нм.

В ходе работы зонд устанавливался в держатель, настраивалась система детектирования, далее исследуемый образец размещался на предметном столике. Измерение проводилось в статическом режиме работы АСМ путем подвода исследуемой поверхности к зонду с использованием программы SurfaceScan. Для данного образца сканирование проводили в области 10, 5, 3 и 1,5 мкм.

Результаты исследования морфологии поверхности и толщины тонких пленок, в том числе и в 3D-изображении, показаны на рис. 1.

Результаты определения шероховатости приведены в табл. 1.

Таблица 1. Шероховатость поверхности пленок ZnO

Размер поля, мкм ²	Ra, нм	Rq, нм
10	1,4	1,7
5	1,1	1,4
3	0,9	1,3
1,5	0,8	1,2

Выводы. Методом термического напыления на установке ВУП – 5 получены тонкие пленки состава ZnO на подложке из (Ni) или стекла в вакууме при температуре 2250–2400 °С. Исследования проводились методами электронографии и атомно-силовой микроскопии.

Из анализа полученных результатов следует, что напыленные пленки имеют аморфную структуру, при дальнейшем отжиге до температур 350–400 °С с течением времени возникают кристаллические фазы с гексагональной решеткой. Определена шероховатость полученных пленок.

Литература

1. Структурно-фазовые состояния тонких интерметаллических пленок системы Cu-Sn: автореферат дис. кандидата физико-математических наук: 01.04.07 / А. Н. Макрушина. – Барнаул, 2017. – 23 с.