

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ ПЛЕНКАМИ ZnO *n*-ТИПА И КРЕМНИЕВЫМИ ПОДЛОЖКАМИ *p*- и *n* - ТИПА.

Л.С. Горбатенко, О.А Новодворский, О.Д. Храмова, Е.А. Черобыло,
В.Я. Панченко

Институт Проблем Лазерных и Информационных Технологий РАН, г.Шатура, Россия
E-mail: goga_107@list.ru

The epitaxial ZnO films doped by gallium were deposited by the pulse laser deposition method on monocrystal *n*- and *p*- type Si (001) substrates. The volt-ampere characteristics of *n*-ZnO/*p*-Si- and *n*-ZnO/*n*-Si- heterojunctions are obtained.

Оксид цинка входит в круг полупроводниковых материалов, которые в настоящий период наиболее интенсивно изучаются. Благодаря своим уникальным оптическим, акустическим и электрическим свойствам оксид цинка нашел применение при изготовлении прозрачных электродов в солнечных элементах, в газовых сенсорах, в варисторах, в устройствах генерации поверхностных акустических волн. Будучи прозрачным в широкой области спектра, ZnO обладает высокой стойкостью к облучению, он податлив к химическому травлению и относительно дешев, что делает его привлекательным для применения в микроэлектронике [1, 2].

Благодаря некоторым достоинствам этого широкозонного полупроводника ($E_G = 3.4$ эВ при $T = 300$ К) имеются перспективы его использования в коротковолновой и высокотемпературной оптоэлектронике, фотопреобразователях и т.п. ZnO имеет большую энергию связи экситона (60 мэВ), что является рекордным для твердотельных бинарных полупроводников (для сравнения энергия связи экситона в GaN - 25мэВ, в ZnSe - 20 мэВ). Большая энергия связи экситонов ZnO и его сплавов особо привлекательны для создания излучающих устройств и фотоприемников УФ диапазона на основе ZnO. Особый интерес вызывает также решение проблем интеграции ZnO с Si, что может открыть возможности реального совмещения уникальных функциональных способностей этих материалов при создании фотопреобразователей на кремниевых подложках. Гетероструктуры, сформированные за счет осаждения на полупроводниковую подложку слоя материала с большей шириной запрещенной зоны, обычно характеризуются более высокой фоточувствительностью из-за так называемого "эффекта окна" [3]. Если гетерослой образован химически и радиационно стойким веществом, что характерно для оксида цинка, фоточувствительная структура не потребует формирования на поверхности дополнительных защитных покрытий. Приведенные соображения позволяют предполагать, что гетероструктуры ZnO/Si при их невысокой стоимости должны обладать характеристиками, сопоставимыми и даже превосходящими характеристики существующих фотоприемников.

Цель настоящей работы – формирование гетероструктур ZnO/Si и исследования электрических свойств анизотипных *n*-ZnO/*p*-Si и изотипных *n*-

ZnO/n-Si гетеропереходов, полученных формированием слоев ZnO на кремниевых подложках.

Напыление пленок оксида цинка проводилось в вакуумной камере, которая откачивалась с помощью турбомолекулярного насоса до давления $2 \cdot 10^{-6}$ Торр. Для абляции мишеней использовался KrF лазер EMG-200 (длина волны 248 нм, длительность импульса 30 нс, энергия импульса до 0,5 Дж, частота повторений импульсов 20 Гц). Излучение лазера фокусировалось на поверхность вращающейся мишени, плотность потока энергии на мишени менялась от 1 до 5 Дж/см². Кремниевые подложки с (100) ориентацией располагались на нагревателе, температура которого составляла 400 °С.

Перед напылением пленок поверхность кремния обрабатывали в плавиковой кислоте. Непосредственно перед помещением подложек в вакуумную камеру для напыления пленок они подвергались очистке ультразвуком в изопропанол. После этого через маску проводилось осаждение пленки ZnO. Затем к участкам пленки и подложки в вакууме напыляли омические титановые контакты и измеряли ВАХ полученного диода.

В качестве подложек применяли полированные кремниевые пластины n- и p- типа с удельным сопротивлением 0,005 Ом·см и 20 Ом·см. Напыление пленок оксида цинка проводили из мишеней нелегированного ZnO (удельное сопротивление пленок 5 Ом·см) и легированного галлием на уровне 2,5 ат.% (удельное сопротивление пленок 0,005 Ом·см). Толщина полученных пленок ZnO составляла 100 нм. Для примера на рис.1 представлены ВАХ анизотипных диодов полученных напылением нелегированных пленок подложки p-кремния с разным значением удельного сопротивления.

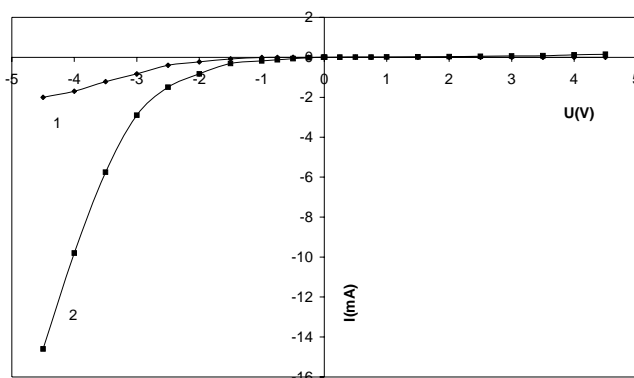


Рис.1. Вольт-амперная характеристика диода n-ZnO /p-Si. 1-удельное сопротивление p-кремния составляет 10 Ом·см, 2-удельное сопротивление p-кремния составляет 0,1 Ом·см. В обоих случаях удельное сопротивление пленки n-ZnO равно 5 Ом·см.

Для всех комбинаций удельного сопротивления пленок и подложек наблюдались выпрямляющие свойства полученных диодов. При этом характер поведения всех ВАХ для анизотипных переходов n-ZnO/p-Si был одинаков. Прямой ток во всех исследуемых диодных структурах изменяется практически экспоненциально с напряжением смещения.

Характерные результаты измерения вольт-амперных характеристик изотипных гетероструктур n-ZnO / n-Si представлены на рисунках 2 - 4. Как видно из рис.2, при нанесении нелегированной пленки n-ZnO со сравнительно высоким удельным сопротивлением (5 Ом·см) на подложку высокоомного кремния (20 Ом·см) контакт n-ZnO / n-Si демонстрирует выпрямляющие свойства. Аналогичные результаты наблюдаются для таких гетероструктур на нелегированном кремнии. В случае нелегированного кремния плотность тока через контакт снижается примерно на три порядка. В литературе описывалась возможность формирования выпрямляющих контактов типа диодов Шоттки на изотипных гетеропереходах в N-n структурах [4].

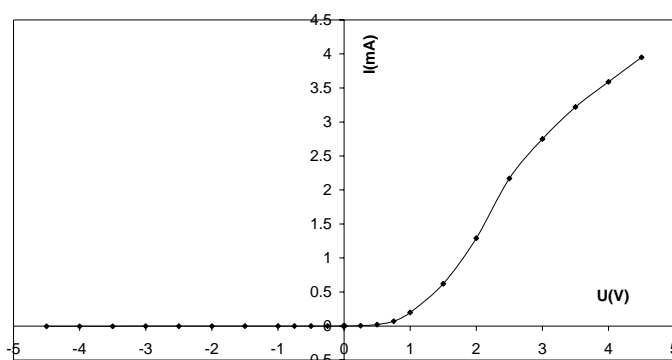


Рис.2. Вольт-амперная характеристика диода n-ZnO/n-Si. Удельное сопротивление n-кремния составляет 20 Ом·см удельное сопротивление пленки n-ZnO равно 5 Ом·см.

Снижение удельного сопротивления подложки приводит к изменению характера поведения ВАХ. Характерная ВАХ для изотипного перехода n-ZnO/n-Si для кремния с удельным сопротивлением 0,1 Ом·см представлена на рис.3.

Наклон ВАХ при нулевом смещении возрастает (уменьшается дифференциальное сопротивление перехода). Величина обратного тока возрастает.

На рис.4 представлена ВАХ изотипной гетероструктуры n-ZnO/n-Si, которая получена осаждением легированной галлием пленки n-ZnO на подложку кремния с высоким удельным сопротивлением. Она демонстрирует омический характер зависимости тока от напряжения, однако дифференциальное сопротивление перехода достаточно велико ($2,5 \cdot 10^5$ Ом).

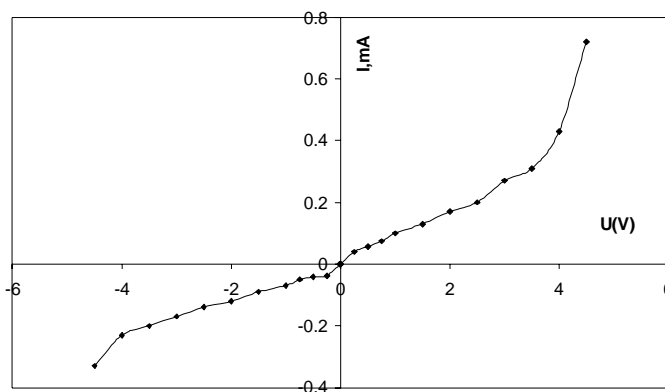


Рис.3. Вольтамперная характеристика диода p-ZnO/n-Si. Удельное сопротивление n-кремния составляет 0.1 Ом·см удельное сопротивление пленки p-ZnO равно 5 Ом·см.

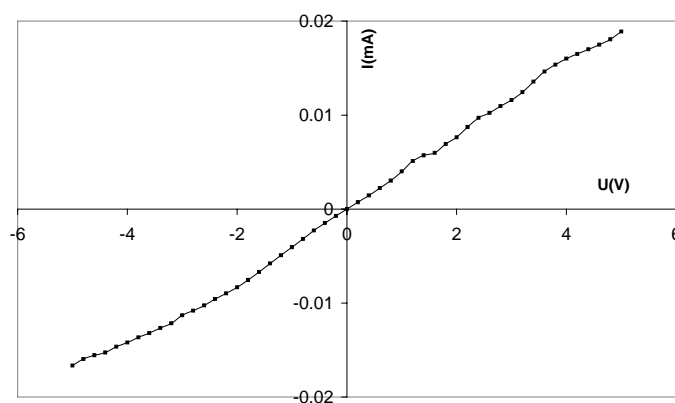


Рис.4. Вольтамперная характеристика диода p-ZnO/n-Si. Удельное сопротивление n-кремния составляет 20 Ом·см удельное сопротивление пленки p-ZnO равно 0.5 Ом·см.

Полученные результаты показывают, что в случае изотипных гетеропереходов изменением проводимости контактирующих материалов можно получить как омический контакт, так и выпрямляющий контакт. Для анизотипных гетеропереходов во всех рассмотренных нами случаях наблюдаются только выпрямляющие контакты.

1. E. McGlynn, J. Fryar, G. Tobin, C. Roy, M.O. Henry, J.-P. Mosnier, E. de Posada, J.G. Lunney, Effect of polycrystallinity on the optical properties of highly oriented ZnO grown by pulsed laser deposition / Thin Solid Films v.458, 330-335 (2004).
2. D.C. Look, Recent advances in ZnO materials and devices / Mater.Sci.Eng., В 80, 383 (2001).
3. А. Милнс, Д. Фойхт Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник (М.,1975).
4. М.А. Ахметоглы, И.А. Андреев, Е.В. Куницина, М.П. Михайлова, Ю.П. Яковлев Электрические свойства изотипных гетеропереходов II типа, ФТП, т. 41, в.2, с.154, 2007.