

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO С
ЛЕГИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ СЕНСОРНЫХ СТРУКТУР**

студенты гр. 10307112 Бурнов А.С., Наумов Я. В.

Научные руководители — к.т.н. Шевченко А.А., к.ф-м.н. Босак Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

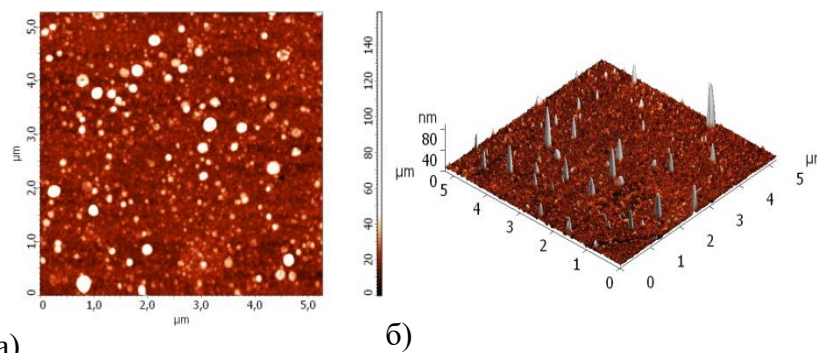
Задачи микро-наносенсорики стимулировали исследования тонких пленок оксида цинка. Результаты исследований структурных, электрических, акустических и оптических свойств ряда тонких пленок ZnO и процессов их получения представлены в [1]. Повышение интереса к тонким пленкам ZnO связано с поиском активных материалов для чувствительных элементов микро-наносенсоров. Управление физико-химическими свойствами тонких пленок оксида цинка может обеспечиваться путем введения в их состав различных легирующих добавок [2].

В настоящей работе варьирование свойств тонких пленок достигнуто за счет использования легирующих добавок оксидов, фторидов редкоземельных элементов (РЗЭ) (4 мас.%), оксида индия-олова (ИТО, 10 масс.%). Выбор таких легирующих добавок в ZnO обусловлен высокой чувствительностью параметров указанных соединений к различным внешним воздействиям.

В качестве источника излучения в установке использован лазер на неодимовом стекле ($\lambda = 1,06$ мкм). Для получения многоимпульсного режима генерации лазера с высокой частотой повторения импульсов от 5 до 50 кГц внутри резонатора вблизи глухого зеркала установлен пассивный оптический затвор из радиационно облученного кристаллического фторида лития LiF с F_2^- -центрами окраски. Частота повторения лазерных импульсов изменялась за счет варьирования уровня накачки лазера и оптической плотности затвора; длительность лазерных импульсов на полувысоте составляла ~ 85 нс. При многоимпульсном высокочастотном лазерном воздействии на поверхность распыляемой мишени реализовывался режим эффективного эрозионного плазмообразования. Осаждение тонких пленок на кремниевой подложке достигалось при плотности мощности лазерного излучения $q = 110$ МВт/см², частоте повторения импульсов $f \sim 20-30$ кГц и давлении в камере до 2,7 Па.

Топография поверхности тонких пленок ZnO с легирующими добавками на кремниевой подложке КДБ-12 (100) исследовалась с помощью сканирующего зондового микроскопа Solver P47-Pro (НТ-МДТ, Россия) в полуконтактном режиме. Измерения вольт-амперных характеристик проводилось с использованием лабораторного стенда на основе измерителя иммитанса E7-20 при комнатной температуре. Пропускание оптического излучения тонкими пленками в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне спектра измерялось на спектрофотометре Cary 500 Scan. Спектры пропускания в средней инфракрасной области регистрировались с помощью ИК-Фурье-спектрометра NEXUS (Thermo Nicolet) в диапазоне 400-4000 см⁻¹. В спектральном интервале 200-2550 см⁻¹ спектры КРС регистрировались на спектрометре SpectroPro 500i.

На АСМ-изображениях поверхности тонкой пленки наблюдалось наличие острых микровыступов, средняя высота которых варьировалась в достаточно широких пределах: от 16,1 до 23,1 нм (рис. 1,б). Средний латеральный размер частиц составлял порядка 100 нм, число крупных конгломератов незначительно.



а) б)
Рис. 1. АСМ-изображения поверхности тонкой пленки ZnO + 10 % ИТО: а – в режиме латеральных сил; б – в режиме топографии.

Вольт-амперные характеристики, зарегистрированные при прямом и обратном смещении и представленные на рис. 2, типичны для структуры ZnO + ИТО/Si. Установлено, что как в отрицательной, так и в положительной области напряжений на вольт-амперной характеристике $I \sim U^n$ наблюдаются два типичных участка с разными значениями n . В области малых напряжений до 0,5 В значение $n = 1,8$, что характерно для случая протекания тока, ограниченного пространственным зарядом. Такой режим устанавливается, когда пленка диэлектрика имеет достаточно малую толщину, и заряд инжектированных из металла электронов заполняет всю область полупроводника. При напряжениях более 0,5 В в структуре ZnO + ИТО/Si наблюдается омическая проводимость. Зависимость емкости от напряжения (рис. 3) характерна для высокочастотных характеристик МОП-структур на р- типе кремния, что говорит о возможном избытке кислорода в пленке.

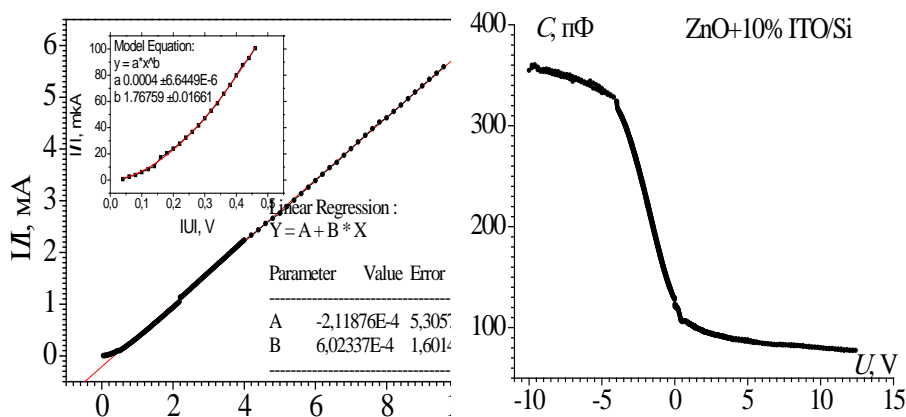


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика структуры ZnO+10% ИТО /Si.

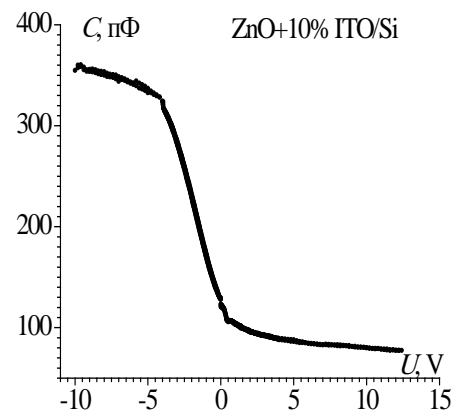
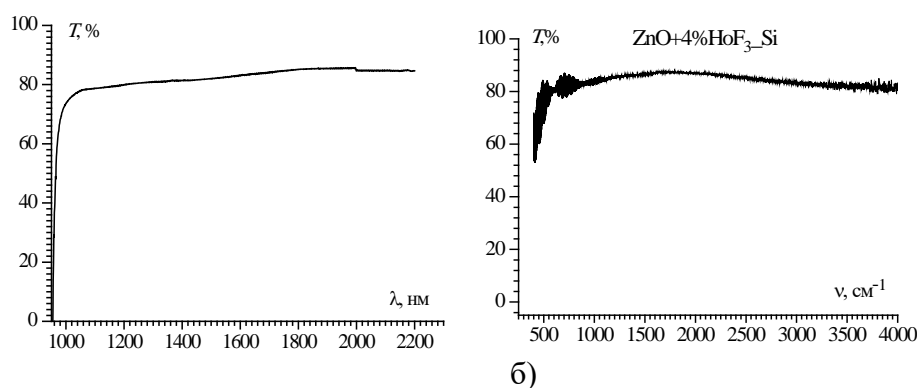


Рис. 3. Вольт-фарадная характеристика структуры ZnO+ 10% ИТО /Si.

Пропускание лазерно-осажденной пленки ZnO с добавкой фторида гольмия в ближней ИК-области спектра от 1 до 2,2 мкм достигает значения $\sim 80\%$ (рис. 3), которое приблизительно сохраняется и в дальней ИК-области спектра от 2,5 до 10 мкм (рис. 4). Сопоставление полученных результатов с данными предыдущих исследований [2] свидетельствует о существенном увеличении пропускания пленки оксида цинка при введении легирующей добавки фторида гольмия в количестве 4 % по массе.



а)
 б)
 Рис. 3. Спектр пропускания пленки (а) ZnO+4% HoF₃, (б) – инфракрасный спектр пропускания пленки ZnO+4% HoF₃.

Таким образом, в данной работе методом импульсного высокочастотного лазерного осаждения из керамических мишеней в вакууме получены тонкие пленки ZnO с различными легирующими добавками для сенсорных структур. Представлены результаты исследований морфологии и топографии получаемых тонких пленок на основе ZnO, их вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики, а также спектры пропускания в ближней и дальней ИК-области спектра. На основании выполненных исследований дан анализ свойств полученных тонких пленок и механизмов транспорта носителей заряда.

Литература

1. Бугаева, М. Э. Газовые сенсоры на основе оксида цинка (Обзор) / М. Э. Бугаева, В. М. Коваль, В. И. Лазоренко, Г. В. Лашкарев, В. А. Карпина, В. Д. Храновский // Sensors Electronics and Microsystem Technologies. 3/2005. – p.34-42.
2. Колешко, В. М. Получение тонких пленок ZnO с микродобавками соединений РЗЭ при распылении керамических мишеней / В. М. Колешко, А. В. Гулай, А. А. Шевченко, Т. А. Кузнецова, М. А. Андреев // Порошковая металлургия. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып. 34, 2011. – С. 106-111.

УДК 621.382

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO С ЛЕГИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ РЗЭ

студент гр. 10307112 Наумов Я.В.

Научный руководитель - Шевченко А.А.

Белорусский национальный технический университет
 Минск, Беларусь

На рис. 1 показана вольт-амперная характеристика структуры ZnO+4% ErF₃/Si при воздействии различных источников освещения. Проведя аппроксимацию ВАХ структуры, можно судить о механизмах проводимости, обуславливающих токи. В области отрицательных напряжений наблюдается омический механизм проводимости. На ВАХ, наблюдаемой при освещении структуры лампой накаливания, в положительной области напряжений наблюдаются омическая зависимость I~U. При освещении структуры ИК - источником света в области напряжений от 0 В до 4 В наблюдается зависимость I~Uⁿ, где n=0,8, что характерно для тока, ограниченного пространственным зарядом. Полученная зависимость емкости от напряжения (рис. 2)