

Рисунок 2 – ВАХ двухслойной структуры титанат бария/титанат стронция без освещения (кривая 1) и с освещением (кривая 2)

Таким образом, сформирована гетероструктура титанат бария/титанат стронция на подложке кремния. Пленка титаната бария формировалась золь-гель методом, пленка титаната стронция – ВЧ магнетронным распылением. В гетероструктуре титанат бария/титанат стронция после формирования электродов из Ni и облучении видимым излучением был зарегистрирован фототок. Освещение образца привело к изменениям на прямой ветви ВАХ. Полученная гетероструктура титанат бария/титанат стронция представляет интерес для использования в оптоэлектронике.

**Список использованных источников:**

1. Piskunov, S. Bulk properties and electronic structure of SrTiO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>, PbTiO<sub>3</sub> perovskites: an ab initio HF/DFT study / S. Piskunov [et al.] // Computational Materials Science. – 2004. – Vol. 29. – P. 165 – 178.
2. Cernea, M. Methods for preparation of BaTiO<sub>3</sub> thin-films / M. Cernea // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. – 2004. – Vol. 6, №. 4. – P. 1349 – 1356.
3. Preparation and properties of ferroelectric BaTiO<sub>3</sub> thin-films produced by the polymeric precursor method // Journal of Materials Science Letters. – 2000. – Vol. 19. – P. 1457 – 1459.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДЬЮ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА

Ткачёнок Н.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Чубенко Е.Б. – канд. техн. наук

В данной работе были исследованы закономерности формирования тонких пленок оксида цинка (ZnO) с примесью меди методом электрохимического осаждения на подложках из монокристаллического кремния. Полученные структуры были исследованы методом Рамановской спектроскопии и оптической спектрофотометрии. Наблюдаемые на спектрах рамановского рассеяния линии подтвердили наличие кристаллического ZnO в сформированных пленках. Полученные структуры демонстрируют широкую полосу фотолюминесценции в видимом диапазоне с максимумом на длине волны 590 нм, соответствующую излучательным переходам через обусловленные дефектами уровни в запрещенной зоны полупроводника.

Оксид цинка (ZnO) – обладающий высокой термической и химической стабильностью широкозонный полупроводниковый материал с большой энергией связи экситона (60 мэВ), значительно превышающей величину теплового потенциала при комнатной температуре (25 мэВ). Благодаря этим уникальным свойствам ZnO широко применяется в виде тонких пленок и массивов наноструктур в перспективных оптоэлектронных и светоизлучающих устройствах. Легирование ZnO

определенными элементами позволяет управлять его люминесцентными характеристиками и расширяет спектр его возможных применений.

В связи с этим оптимизация оптических свойств ZnO путем легирования является приоритетной задачей в развитии технологии этого материала. Кроме того, известно, что металлы группы IB, такие как серебро (Ag) и медь (Cu), являются быстро диффундирующими примесями в полупроводниковых соединениях. Диффузия Cu в ZnO может вызвать изменения в структуре его кристаллической решетки и, соответственно, его физических свойствах. Среди элементов IB группы Cu лучше всего подходит в качестве легирующей примеси для повышения эффективности люминесценции и получения ZnO дырочного типа проводимости. Также было продемонстрировано, что эффективность излучения пленок ZnO в ультрафиолетовом диапазоне может быть значительно увеличена при легировании Cu. Однако легированные Cu наночастицы ZnO практически не изучены, и механизм усиления эмиссии до конца не определен. Влияние легирования Cu на излучение, поглощение и связанные с этими процессами переходы электронов и экситонов в ZnO также требуют дальнейшего изучения [1].

В настоящей работе были проведены исследования закономерностей формирования тонких пленок ZnO, легированного Cu, непосредственно в процессе его получения. Использование метода электрохимического осаждения представляет большой интерес, благодаря его простоте, экономической эффективности и возможности применения для обработки подложек большой площади, что важно для применения этого материала в фотовольтаике. Кроме того, гетероструктуры на основе широкозонного ZnO ( $E_g = 3,37$  эВ) и узкозонных полупроводников CuO ( $E_g = 1,37$  эВ) и Cu<sub>2</sub>O ( $E_g = 2,17$  эВ) представляют собой эффективные системы для гетерогенного фотокатализа.

Тонкие пленки ZnO, легированного Cu, были получены методом электрохимического катодного осаждения. В качестве подложек для формирования ZnO использовались пластины монокристаллического кремния марки КЭС-0,01 (111). Для осаждения использовался водный раствор, содержащий 0,1M Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и 0,1 mM CuSO<sub>4</sub>. Процесс осаждения проводился в гальваностатическом режиме при постоянной плотности тока от 1 до 5 мА/см<sup>2</sup> в термостатированной двухэлектродной ячейке при температуре 80 °С. Продолжительность процесса осаждения составляла от 5 до 30 мин. Спектры фотолюминесценции были записаны на лазерном спектральном измерительном комплексе при использовании для возбуждения фотолюминесценции монохроматического излучения с длиной волны 345 нм, выделенного из спектра излучения ксеноновой лампы. Для регистрации спектров использовался оснащенный цифровой камерой монохроматор-спектрограф Solar TII MS 7504i. Спектры рамановского рассеяния были исследованы на 3D-сканирующнм лазерном конфокальном Рамановском микроскопе SOL Instruments Confotec NR500.

Полученные спектры фотолюминесценции образцов тонких пленок ZnO представлены на рисунке 1. Независимо от продолжительности процесса электрохимического осаждения ZnO на спектрах фотолюминесценции наблюдается только широкая полоса с максимумом интенсивности, расположенном в оптическом диапазоне на длине волны 590±2 нм. Данная полоса может быть связана с процессами излучательной рекомбинации через уровни в запрещенной зоне полупроводника, возникновение которых обусловлено вакансиями кислорода и атомами кислорода в междоузлиях кристаллической решетки ZnO, а также наличием примесных атомов Cu в полученных пленках [2].

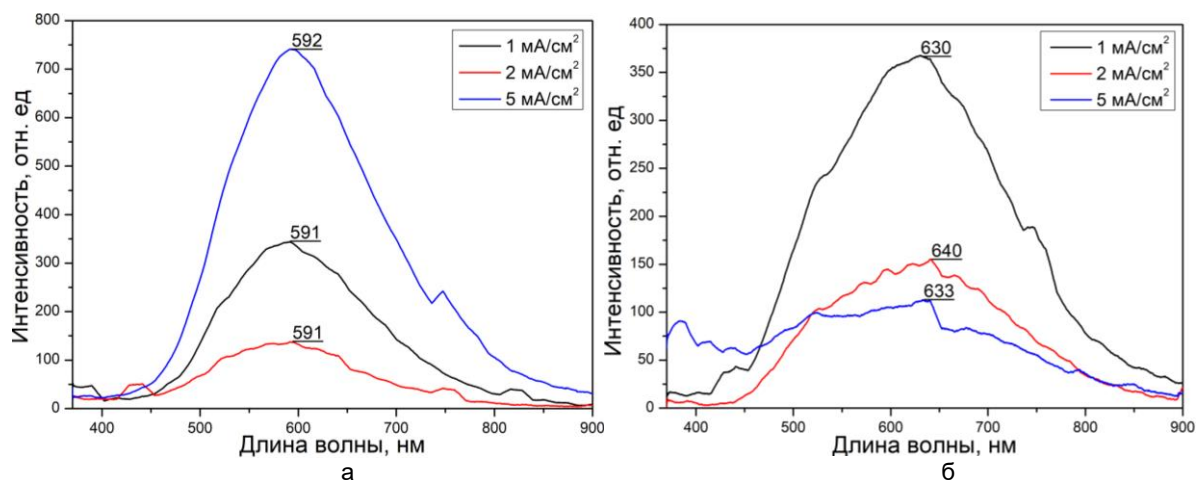


Рисунок 1 – Спектры фотолюминесценции образцов тонких пленок ZnO, полученных при различных плотностях тока до (а) и после термического отжига при температуре 500 °С (б)

На рисунке 1, б представлены спектры фотолюминесценции пленок ZnO после отжига на воздухе при 500 °C в течение 60 мин. Максимум интенсивности полосы фотолюминесценции смещается в более длинноволновую область на длину волны 630 – 640 нм, что обусловлено пассивацией кислородом воздуха дефектов, связанных с вакансиями кислорода в узлах кристаллической решетки ZnO.

На рисунке 2, а представлены спектры рамановского рассеяния образцов тонких пленок ZnO, полученных при различных плотностях тока. До термического отжига на спектрах образцов наблюдается большое количество линий, соответствующих различным колебательным модам кристаллической решетки ZnO [3, 4], а также линии, соответствующие кремниевой подложке. После термического отжига на спектрах рамановского рассеяния появляется ряд новых линий, указывающих на присутствие оксидов CuO и Cu<sub>2</sub>O в пленке (рисунок 2, б).

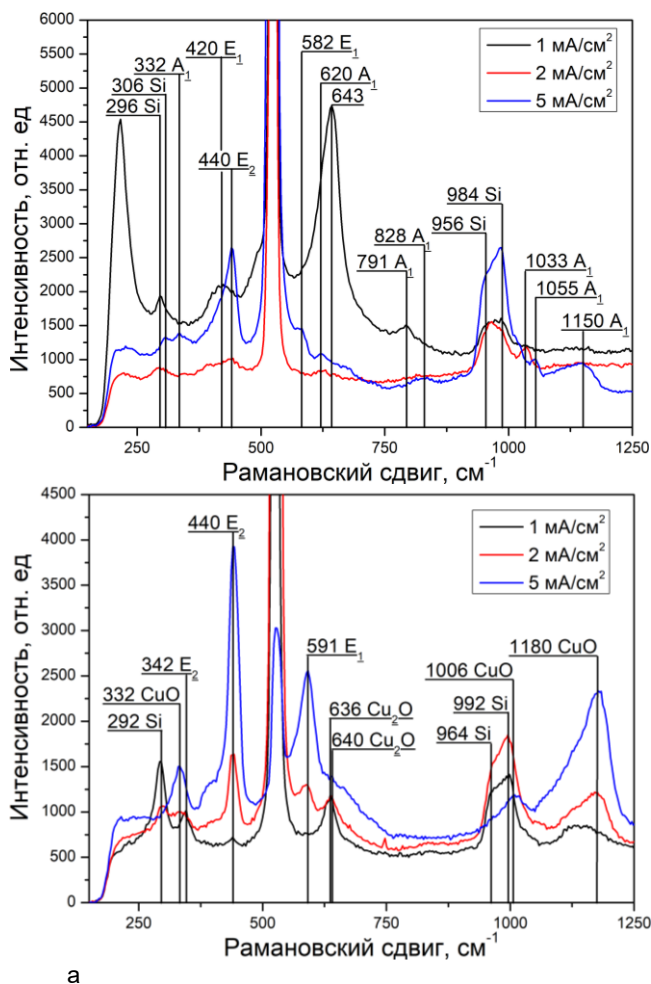


Рисунок 2 – Спектры рамановского рассеяния образцов тонких пленок ZnO, полученных при различных плотностях тока до (а) и после термического отжига при температуре 500 °C (б)

Таким образом, методом электрохимического осаждения были получены тонкие пленки ZnO, легированного медью, а также, после термического отжига, гетероструктуры ZnO/CuO (Cu<sub>2</sub>O), которые могут быть использованы для создания фотокаталитических покрытий и светоизлучающих структур.

**Список использованных источников:**

1. Role of defects in one-step synthesis of Cu-doped ZnO nano-coatings by electrodeposition method with enhanced magnetic and electrical properties / K. Niranjana, et al. // Appl. Phys. A. – 2017. – Vol. 123. – pp. 250.
2. A comprehensive review of ZnO materials and devices / Ü. Özgür [et al.] // J. Appl. Phys. – 2005. – Vol. 9. – P. 041301.
3. Zn interstitial related donors in ammonia-treated ZnO powders / J. Sann J, et al. // Phys. Rev. B. – 2007. – Vol. 76. – pp. 195203.
4. Temperature dependence of Raman scattering in ZnO / R. Cusco, et al. // Phys. Rev. B. – 2007. – Vol. 75. – pp. 165202.