

**Список использованных источников:**

1. Challenge of High Performance Bandgap Reference Design in Nanoscale CMOS Technology / Jun-an Z. [et al.] // Outlook and Challenges of Nano Devices, Sensors, and MEMS. – Springer, Cham, 2017. – P. 45-68.
2. Ishibashi T. Device characteristics of the thin-film silicon-on-insulator power MOSFETs at high temperatures / T. Ishibashi, Y. Morisawa, S. Matsumoto // Japanese Journal of Applied Physics. – 2014. – Т. 53. – №. 6. – P. 064102.

## **ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КАТОДНОГО ЭЛЕКТРОСАЖДЕНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ НИКЕЛЕМ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА**

*Янушкевич К.О.*

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

*Чубенко Е. Б. – канд. техн. наук*

В работе проведены исследования процесса формирования тонких пленок оксида цинка (ZnO), осажденных методом катодного электрохимического осаждения на подложки монокристаллического кремния, и изучены их оптические и структурные свойства. По данным рамановской спектроскопии, полученные пленки состоят из кристаллического ZnO с примесью никеля, на что указывает увеличение интенсивности полосы при  $1050\text{ см}^{-1}$  и сглаживание полосы на  $1150\text{ см}^{-1}$ . Наибольшей однородности и степени кристаллизации полупроводника удалось достичь при плотности тока  $15\text{ мА/см}^2$ . Так же, полученные пленки демонстрируют связанную с дефектами кристаллической решетки фотолюминесценцией в желтом диапазоне спектра.

Полупроводниковый оксид цинка (ZnO) может использоваться в широком спектре применений: химических датчиках, фото-, опто- и пьезоэлектрических устройствах [1]. Одно из направлений, где ZnO может проявить себя – спинтроника на основе разбавленных магнитных полупроводников [2]. Теоретически было предположено, а позже и продемонстрировано, что разбавленные полупроводники на основе ZnO проявляют ферромагнетизм при комнатной температуре при легировании различными переходными металлами (Co, Mn, Fe, Ni, Cr и т.д.) [3]. В данной работе было исследовано влияние режимов электрохимического осаждения на оптические и структурные свойства ZnO легированного Ni.

Экспериментальные образцы изготовлены методом электрохимического катодного осаждения. В качестве подложки использовались кремниевые (Si) пластины марки ЭКЭС-0,01 (111). Для осаждения использовался водный раствор электролита, содержащий  $0,1\text{ М Zn(NO}_3)_2$  и  $0,01\text{ М Ni(NO}_3)_2$ . Осаждение проводилось в гальваностатическом режиме при плотностях тока  $15 - 30\text{ мА/см}^2$  при температуре электролита  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . Анализ химического состава и структуры полученных пленок проводился методом рамановской спектроскопии на 3D-сканирующем лазерном конфокальном Рамановском микроскопе SOL Instruments Confotec NR500 с использованием лазера с длиной волны  $473\text{ нм}$ . Спектры фотолюминесценции были исследованы на лазерном спектральном измерительном комплексе. Возбуждение фотолюминесценции осуществлялось монохроматическим излучением с длиной волны  $340\text{ нм}$ , выделенным из спектра излучения Хе лампы. Для регистрации спектров использовался оснащенный цифровой камерой монохроматор-спектрограф Solar TII MS 7504i.

На рисунке 1 представлены спектры рамановского рассеяния полученных образцов. На всех спектрах присутствуют моды, характерные для кристаллического ZnO и Si. С увеличением времени осаждения ZnO при постоянной плотности тока, а значит и с увеличением количества осадка, пик полосы на  $\sim 1050\text{ см}^{-1}$  приобретает большую интенсивность, в то время как полоса с пиком  $\sim 1150\text{ см}^{-1}$  все более выравнивается, что соответствует увеличению концентрации дефектов, создаваемых в кристаллической решетке ZnO ионами легирующей примеси с ростом толщины пленки [4].

При плотности тока осаждения  $15\text{ мА/см}^2$  разница между модами  $1050$  и  $1150\text{ см}^{-1}$  увеличивается более резко при том же времени осаждения, по сравнению с образцами, полученными при  $20$  и  $30\text{ мА/см}^2$ .

Спектры фотолюминесценции образцов полученных тонких пленок ZnO представлены на рисунке 2. Единственная интенсивная полоса фотолюминесценции, наблюдаемая на всех спектрах, соответствует излучательным переходам через глубокие уровни в запрещенной зоне полупроводникового ZnO ( $\sim 2,12\text{ эВ}$ ). При изменении режимов формирования образцов максимум полосы излучения смещается незначительно:  $585\pm 4\text{ нм}$ . Происхождение желтой фотолюминесценции связано с кислородными дефектами – вакансиями и междоузельными атомами [5]. Как видно из рисунков, с уменьшением плотности тока при сохранении времени осаждения максимум полосы фотолюминесценции смещается в сторону УФ-диапазона. Так, для

плотности тока  $15 \text{ mA/cm}^2$ , это значение находится около  $594 \text{ nm}$ , в то время как для  $20 \text{ mA/cm}^2$  – около  $585 \text{ nm}$ . Однако уже при  $30 \text{ mA/cm}^2$  максимумы сдвигаются в красную сторону, к  $594 \text{ nm}$ . Это связано с перестройкой структуры дефектов в кристаллической решетке  $\text{ZnO}$ , обусловленной изменением концентрации кислорода и примесных атомами никеля.

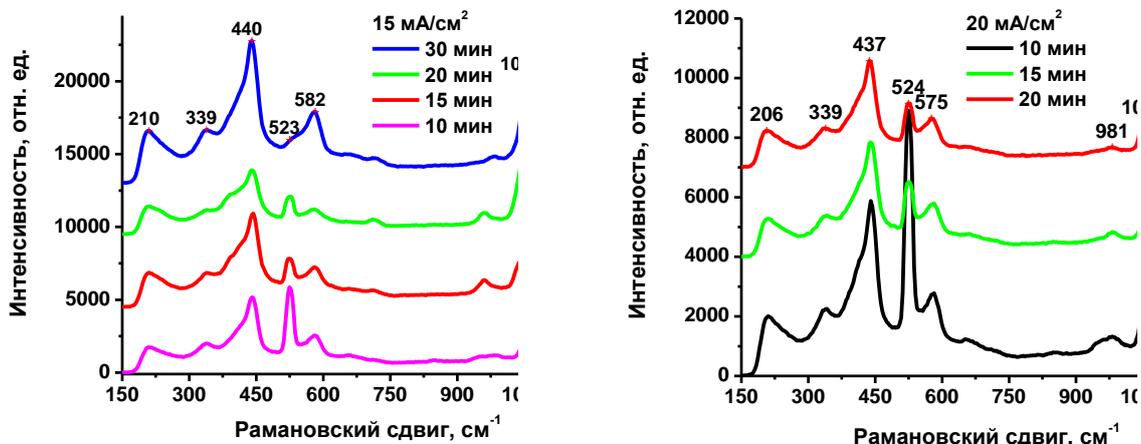


Рисунок 1 – Рамановские спектры образцов для плотности тока  $15 \text{ (a)}$ ,  $20 \text{ (б)}$  и  $30 \text{ (в)}$   $\text{mA/cm}^2$  при различных временах осаждения

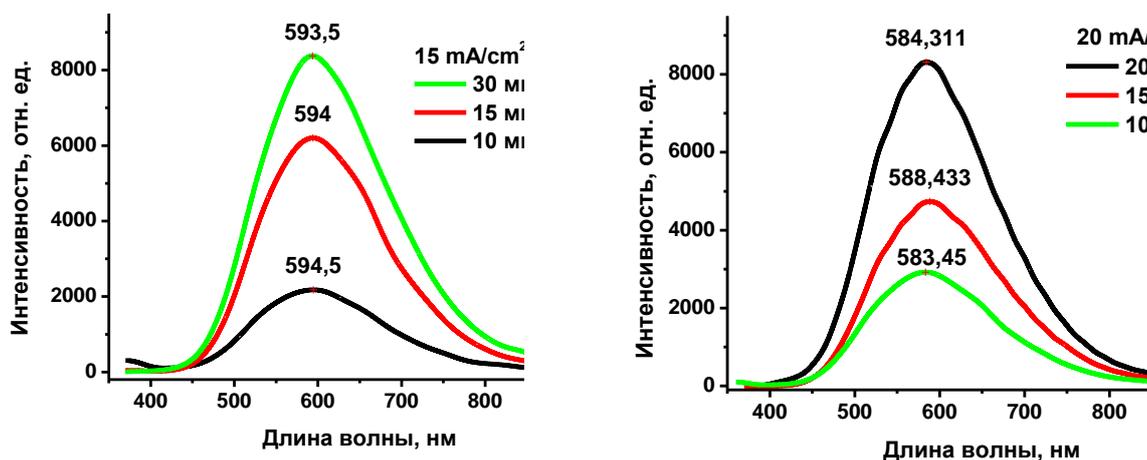


Рисунок 2 – Спектры ФЛ образцов для плотности тока  $15 \text{ (a)}$ ,  $20 \text{ (б)}$  и  $30 \text{ (в)}$   $\text{mA/cm}^2$  при различных временах осаждения

Полученные пленки состоят из кристаллического оксида цинка, степень легирования которого переходными металлами, по данным рамановской спектроскопии, увеличивается при росте плотности тока осаждения, и демонстрируют фотолюминесценцию с максимумом в видимом диапазоне излучения. Полученные структуры могут быть использованы в приборах преобразования световой энергии, таких как солнечные ячейки, различных датчиках и др.

**Список использованных источников:**

1. A comprehensive review of ZnO materials and devices / Ü. Özgür [et al.] // Journal of Applied Physics. – 2005. – Vol. 98, № 4. – P. 041301.
2. Zener Model Description of Ferromagnetism in Zinc-Blende Magnetic Semiconductors / T. Dietl [et al.] // Science. – 2000. – Vol. 287, № 5455. – P. 1019-1022.
3. Chambers, S.A. New Materials for Spintronics / S.A. Chambers, Y.K. Yoo // MRS Bulletin. – 2003. – Vol. 28, № 10. – P. 706-710.
4. Structural and photocatalytic properties of nickel-doped zinc oxide powders with variable dopant contents / X. Cai [et al.] // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2013. – Vol. 74, № 9. – P. 1196-1203.
5. Liu, M. Point defects and luminescence centres in zinc oxide and zinc oxide doped with manganese / M. Liu, A.H. Kitai, P. Mascher // Journal of Luminescence. – 1992. – Vol. 54, № 1. – P. 35-42.