Дипломная работа

Исследование зависимости интенсивности люминесценции пленок оксида цинка от уровня фотовозбуждения при наличии поверхностного плазмонного резонанса.

Курбанов Д.С Т11-67к
МИФИ
2016г.

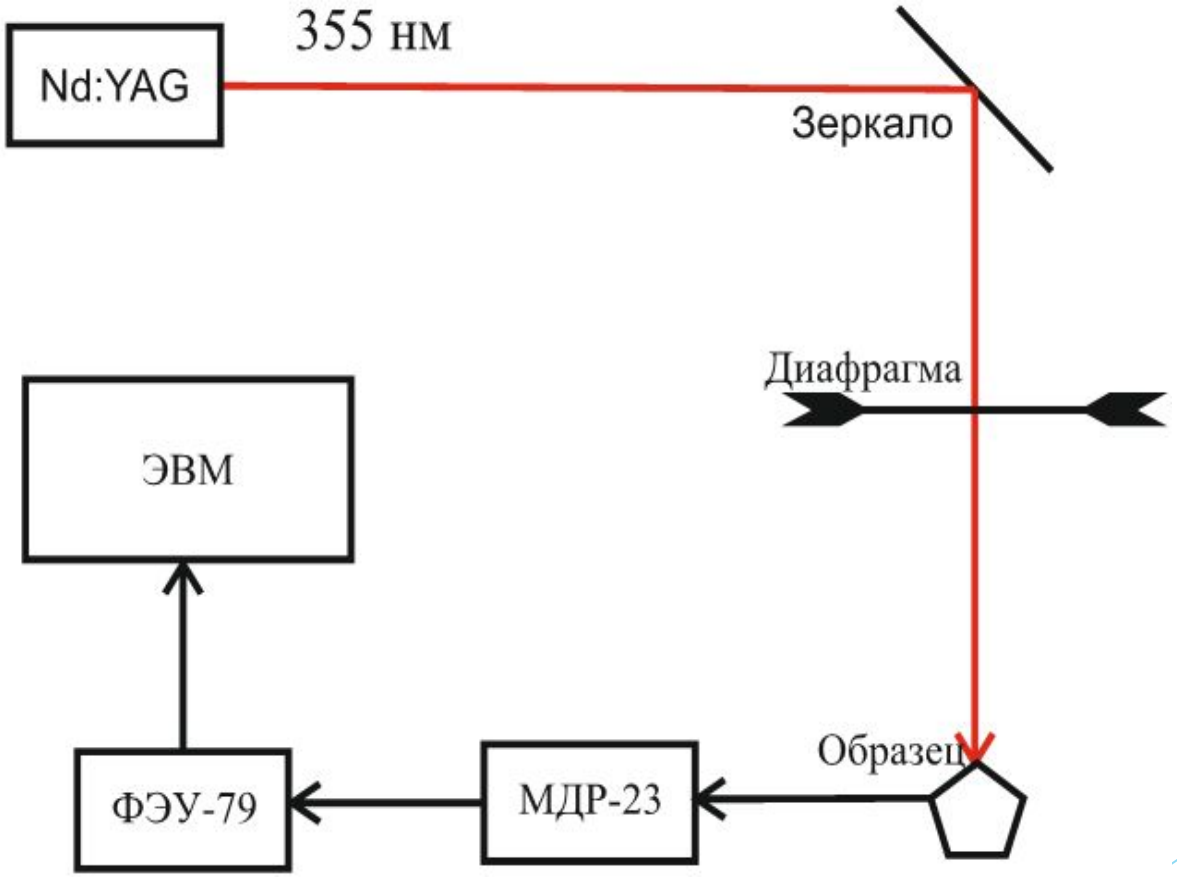
Цель работы:

- Исследование влияния уровня фотовозбуждения на интенсивность люминесценции пленок оксида цинка при наличии поверхностного плазмонного резонанса.

Применение:

- Разработка рекомендаций для получения максимального усиления при помощи ППР.
- Увеличение эффективности светоизлучающих устройств на основе ZnO.

Установка для измерения спектров фотолюминесценции



Измерения проводились на базе ИРЭ им. Котельникова

Методы изготовления образцов

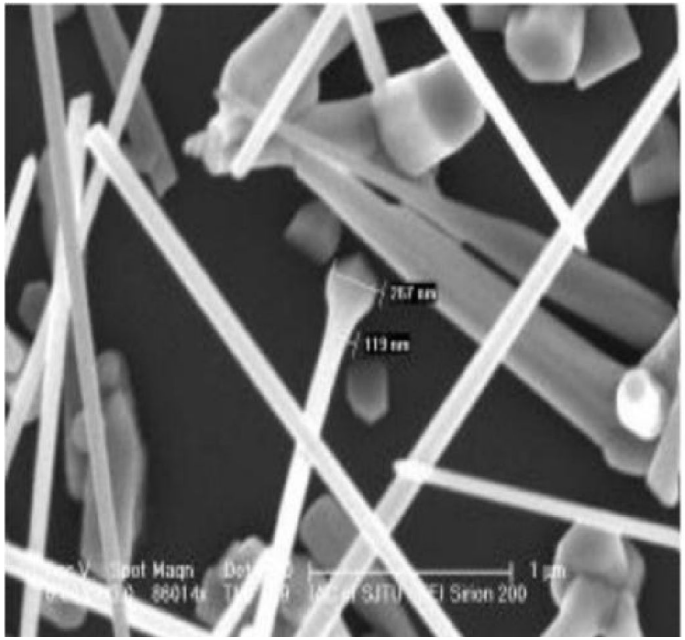
- Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD);
- Метод магнетронного распыления;
- Импульсное лазерное осаждение (ИЛО)

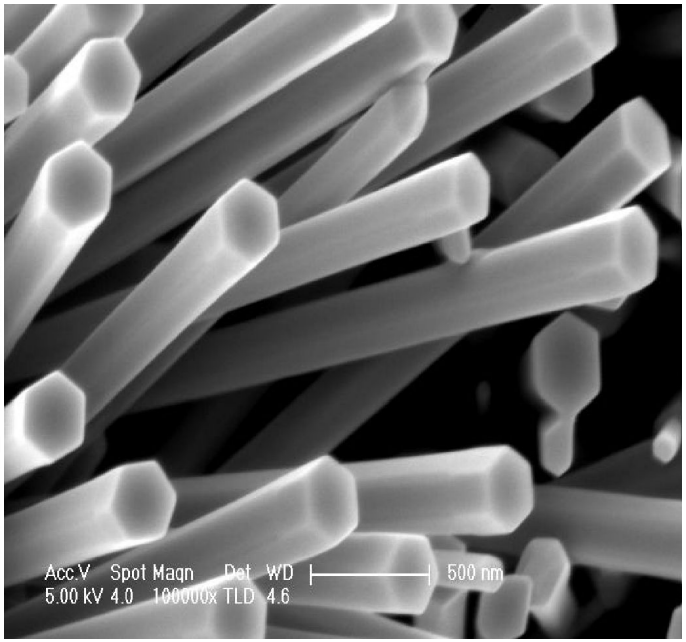
S.J. Jiao, Z.K. Tang et al., ZnO p-n junction light-emitting diodes fabricated on sapphire substrates. //Appl. Phys. Lett. 2006. V.88. P.031911-3

Обзор образцов

SEM ZnO. Изготовлен методом CVD, серебро нанесено магнетронным методом.

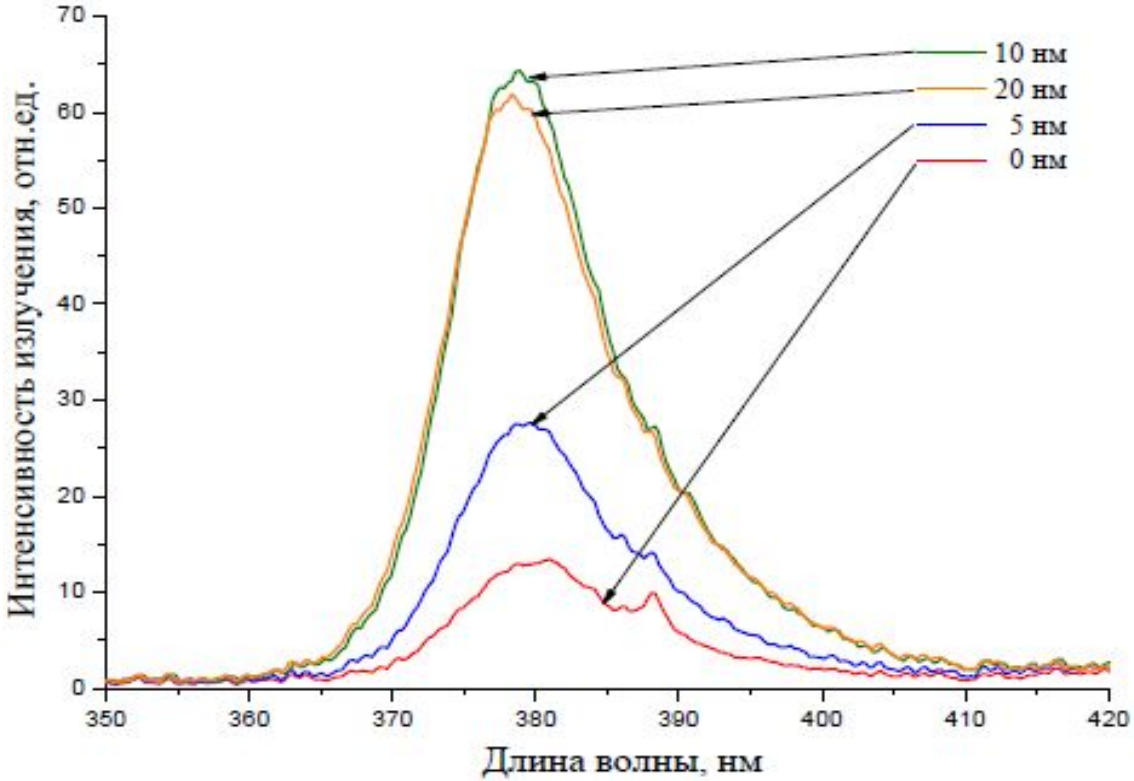
SEM ZnO. Изготовлен методом магнетронного напыления, серебро нанесено методом ИЛО.





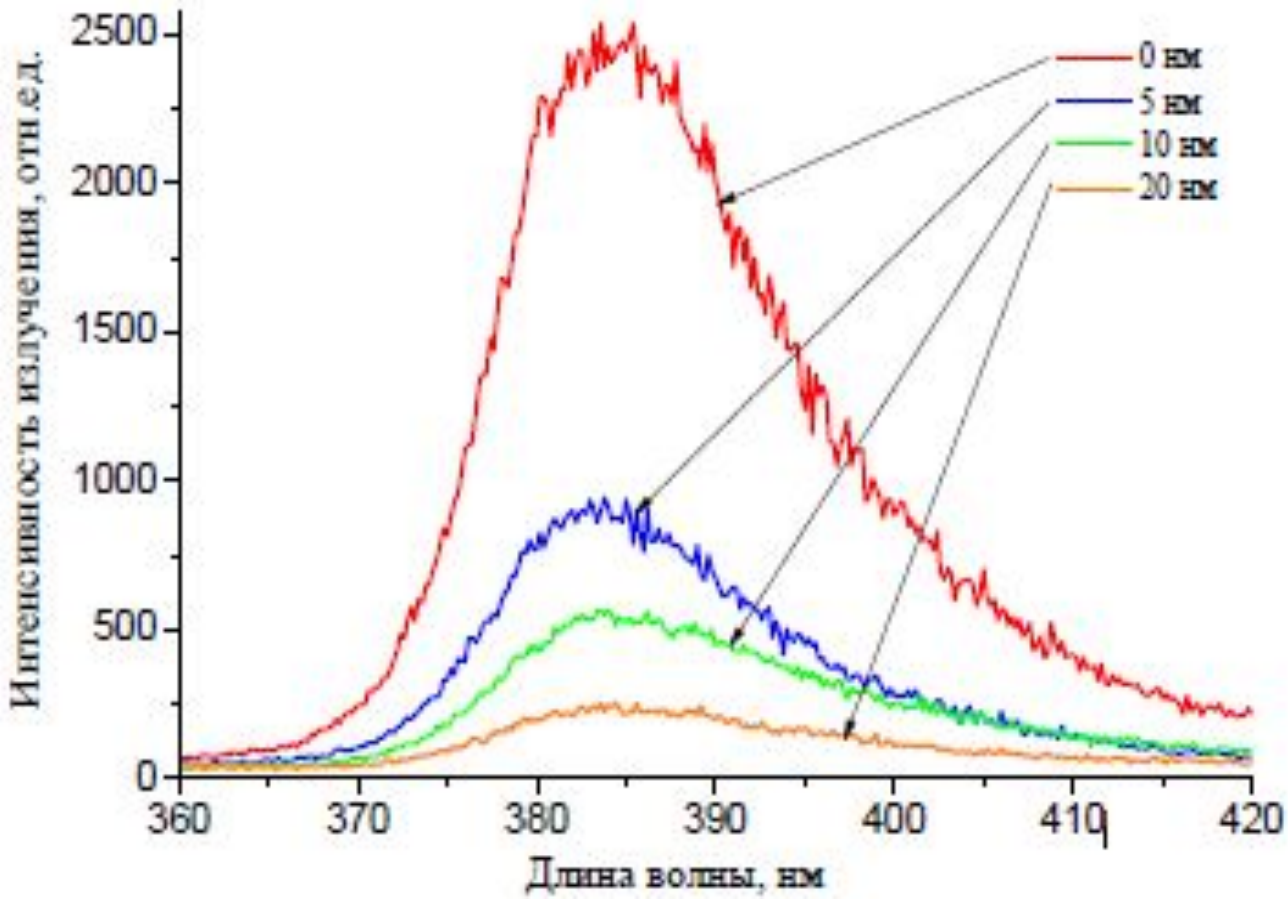
SEM получены на базе ИК им. Шубникова РАН.

Результаты измерений



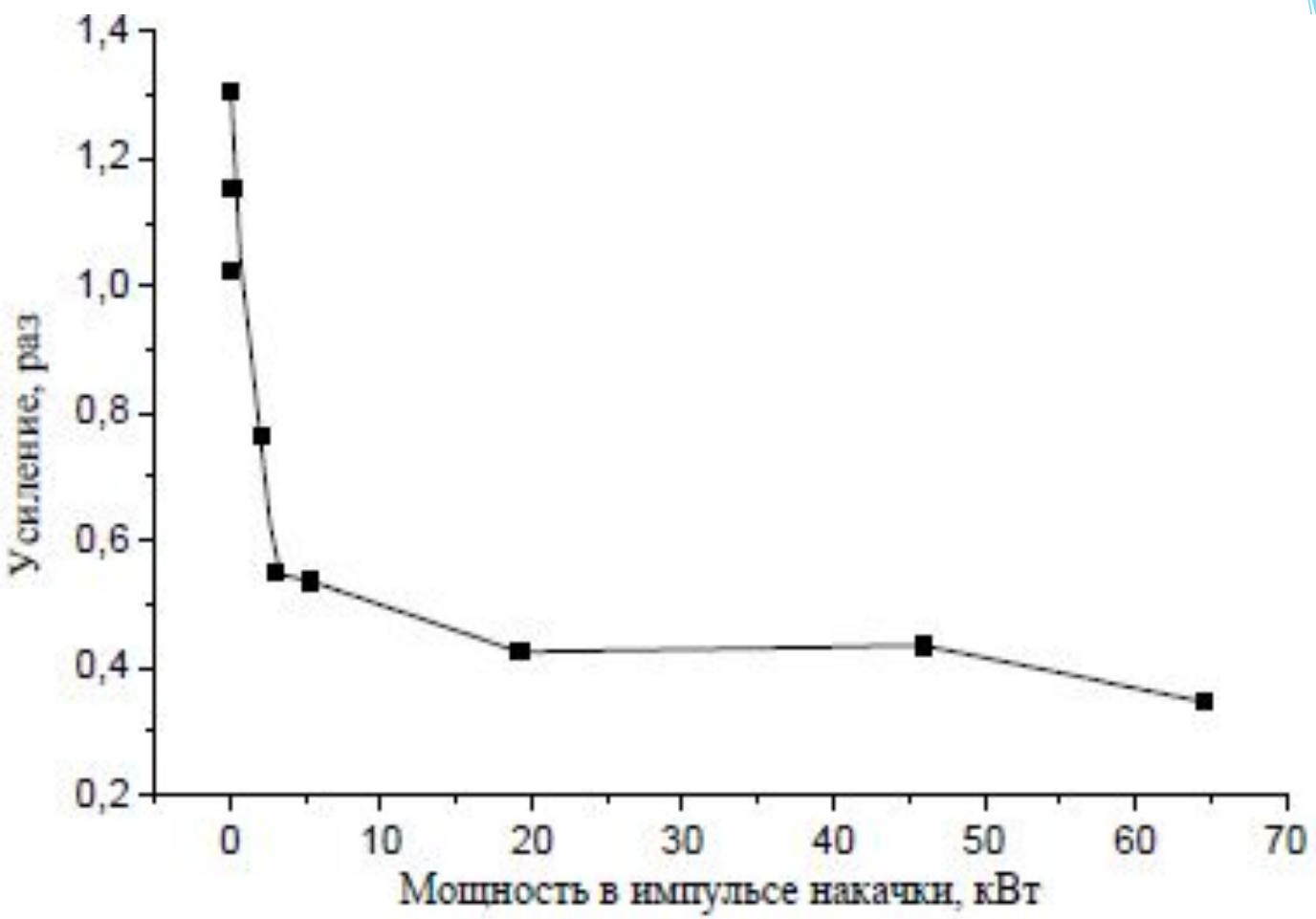
Спектры пленки оксида цинка, полученной методом CVD, с покрытием серебра разной толщины, записанные с возбуждением He-Cd - лазером.

Все спектры люминесценции обрабатывались с использованием пакета Origin.



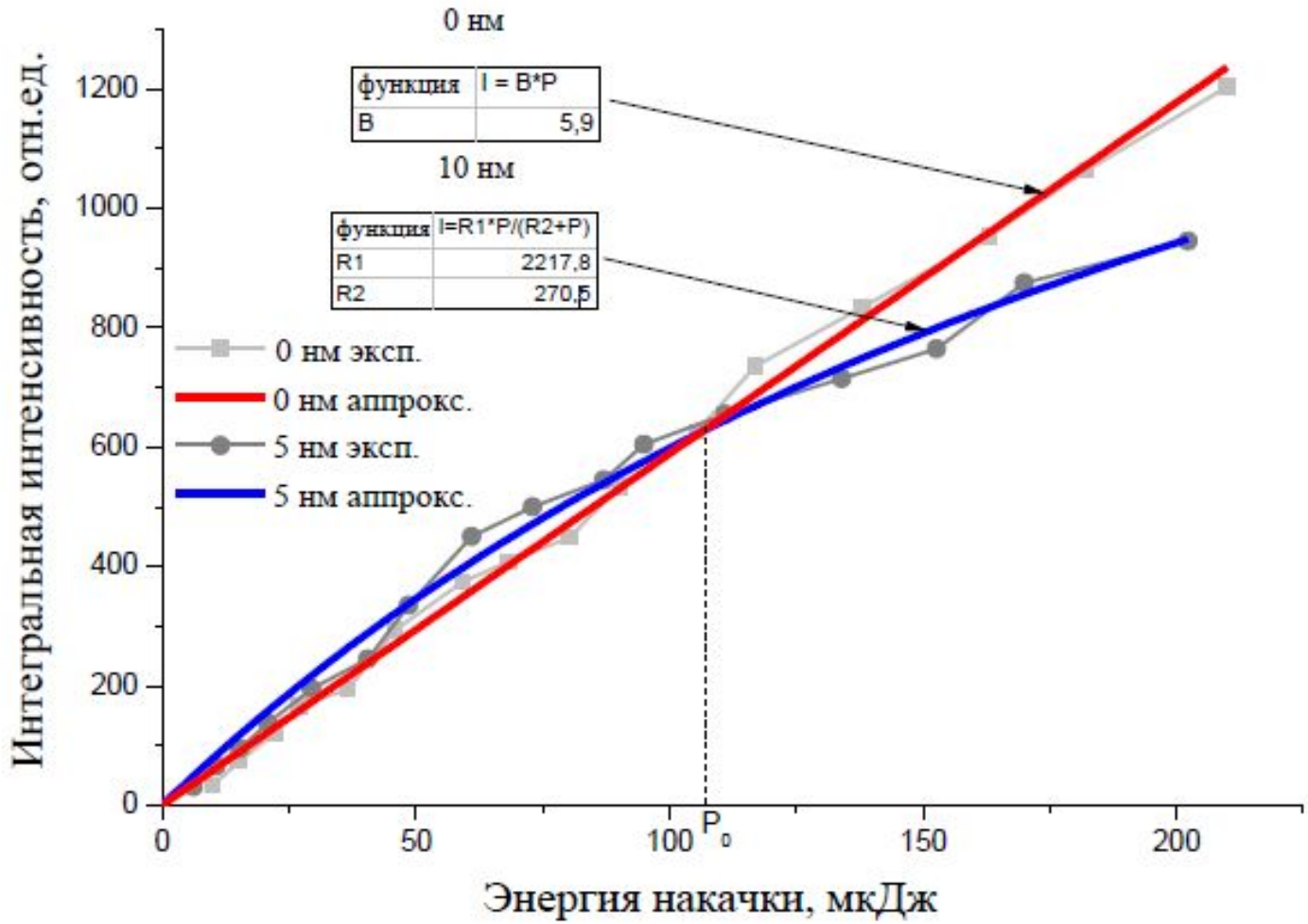
Спектры пленки оксида цинка, полученной методом CVD, с покрытием серебром разной толщины, записанные с возбуждением Nd:YAG - лазером.

Все спектры люминесценции обрабатывались с использованием пакета Origin.



Зависимость отношения интенсивностей люминесценции покрытой и непокрытой серебром частей образца (метод CVD) от накачки; толщина пленки серебра – 5нм

Все спектры люминесценции обрабатывались с использованием пакета Origin.



Пересечение зависимостей интенсивностей от энергии накачки для непокрытой и покрытой серебром части пленки оксида цинка.

Все спектры люминесценции обрабатывались с использованием пакета Origin.

Теоретическая модель

$$\begin{cases} \frac{dn_1}{dt} = P exp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right) - (\mathrm{M}+\mathrm{B})n_1 n_3 \\ \frac{dn_2}{dt} = Hn_4 + A(1 - L_A n_6)n_5 n_4 - n_2(C - S) \\ \frac{dn_3}{dt} = P exp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right) - (\mathrm{M}+\mathrm{B})n_1 n_3 \\ \frac{dn_4}{dt} = Mn_3 n_1 - Rn_4 - A(1 - L_A n_6)n_5 n_4 \\ \frac{dn_5}{dt} = N_0(1 - L_N n_6)Sn_2 - N_0(1 - L_N n_6)\, Sn_2 W(1 - L_w n_6)n_2 - Tn_5 \\ \frac{dn_6}{dt} = \alpha P exp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right) + Vn_2 + Sn_2 W(1 - L_w n_6)n_2 - En_6 \end{cases}$$

Временной ход концентрации:

n_1- электронов в зоне проводимости;

n_2- фотонов, возникающих в результате рекомбинации экситонов и создающих плазмоны;

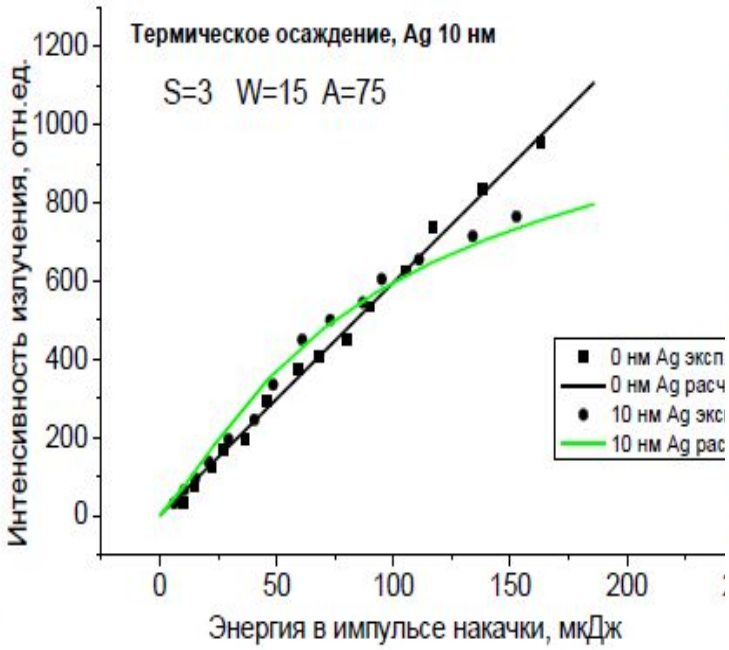
n_3- дырок в валентной зоне;

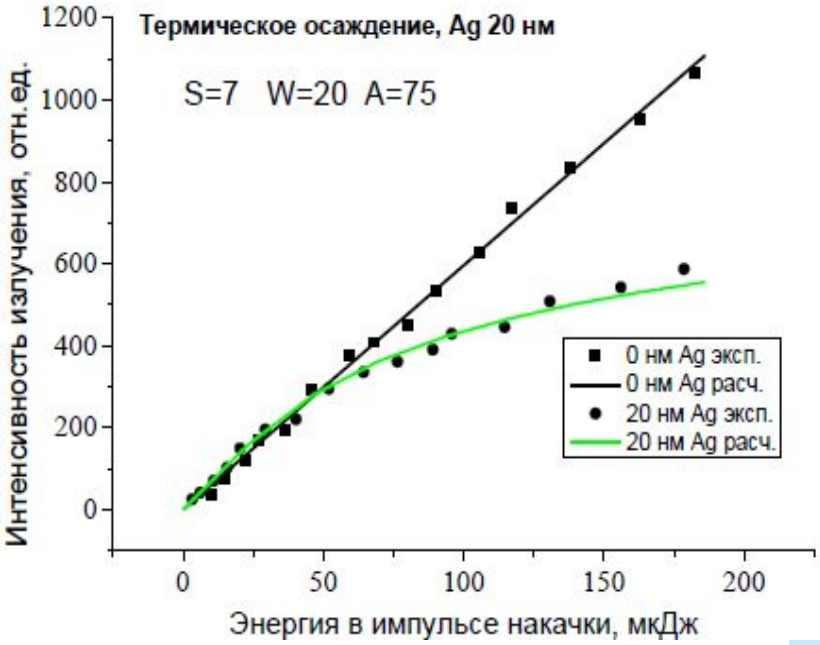
n_4- экситонов;

n_5- фотонов, которыми мы упрощенно будем описывать создаваемое плазмонами поле в наноразмерной области между Ag-покрытием и ZnO;

n_6- фононов, возникающих за счет нагрева.

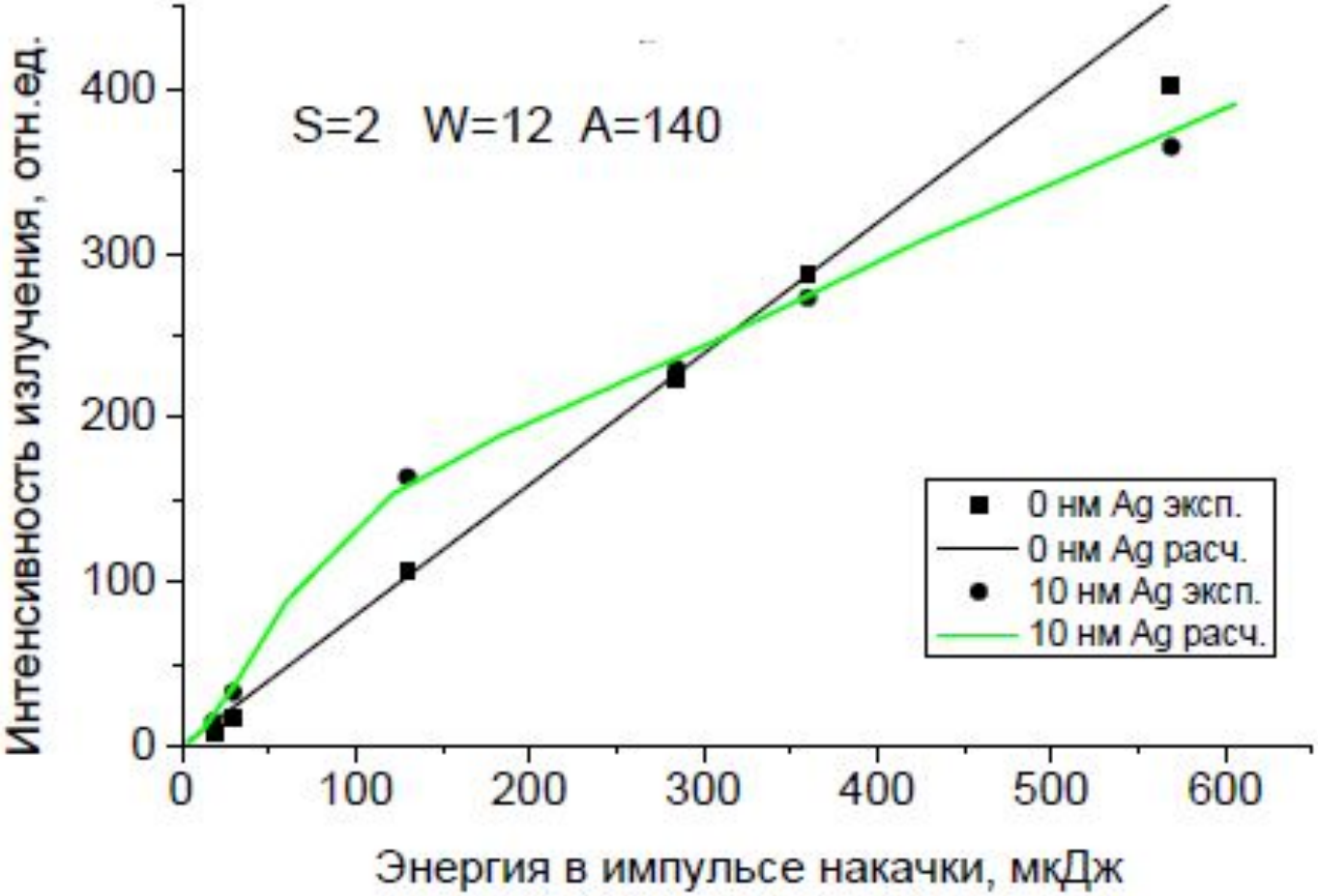
Результаты теоретического моделирования





Сравнение экспериментальной и рассчитанной зависимостей интенсивности люминесценции от уровня возбуждения для образца ZnO/Ag , изготовленного методом термического осаждения с разными толщинами серебра

Все спектры люминесценции обрабатывались с использованием пакета Origin.



Сравнение экспериментальной и рассчитанной зависимостей интенсивности люминесценции от уровня возбуждения для ZnO/Ag, изготовленного методом магнетронного распыления. Толщина Ag 10 нм.

Все спектры люминесценции обрабатывались с использованием пакета Origin.

Выводы:

- Усиление люминесценции пленок ZnO при помощи эффекта ППР возможно только в определенном диапазоне энергий.
- Толщина пленки серебра оказывает существенное влияние на усиление люминесценции образцов при помощи ППР.

Список литературы

- В.В. Климов ―Наноплазмоника‖. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2009, - 480 с. – ISBN 978-5-9221-1030-3;
- Anderson P.W. Absence of diffusion in certain random lattices//Phys.Rev. –1958.–T.109.–C.1492;
- S. Major, S. Kumar, M. Bhatnagar, K.L. Chopra, Appl. Phys. Lett. 49 (1986) 349;
- S.J. Jiao, Z.K. Tang et al., ZnO p-n junction light-emitting diodes fabricated on sapphire substrates. //Appl. Phys. Lett. 2006. V.88. P.031911-3;
- Wang L, Giles NC. Temperature dependence of the free-exciton transition energy in zinc oxide by photoluminescence excitation spectroscopy. J Appl. Phys. 2003; 94; 973-978
- Maier SA. Plasmonics: Fundamental and Applications. Springer Business and Science Media LLC 2007;
- C. H. Ahn, Y. Y. Kim, D. C. Kim, S. K. Mohanta, H. K. Cho. J. Appl. Phys., 105 (2009) 013502;
- J. W. Sun, Y. M. Lu, Y. C. Liu, D. Z. Shen, Z. Z. Zhang, B. Yao, B. H. Li, J. Y. Zhang, D. X. Zhao, X. W. Fan. J. Appl. Phys., 102 (2007) 043522;

Благодарности:

- Научной группе по изучению люминесцентных свойств оксида цинка на базе ИРЭ им. Котельникова за совместную плодотворную работу;
- Научной группе по изучению свойств полупроводниковых структур на базе ИК им. Шубникова за предоставление доступа к установкам для изготовления и анализа образцов;
- Маркушеву В.М. за указание недочетов и помощь в исправлении дипломной работы;

Отдельное спасибо научному руководителю, Рыжкову М.В., за трезвую критику и стимуляцию рабочей деятельности.

Спасибо за внимание!

НИЯУ МИФИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ • МИФИ •

$$\frac{dn_1}{dt} = Pexp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right) - (\mathrm{M}+\mathrm{B})n_1 n_3$$

- n_1 - концентрация электронов в зоне проводимости;
- n_3 - концентрация дырок в валентной зоне;
- *P*- уровень возбуждения. Приблизительная оценка показывает, что плотности энергии возбуждающего импульса 1 мДж/см2 соответствует *P = 3.3;*
- $exp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right)$ - временной ход возбуждающего импульса, соответствующий эксперименту;
- *B* – характеристика вероятности межзонной рекомбинации;
- *M* – характеристика вероятности образования экситонов.

$$\frac{dn_2}{dt} = Hn_4 + A(1 - L_A n_6)n_5 n_4 - n_2(C - S)$$

- n_2- концентрация фотонов возникающих в результате рекомбинации экситонов и создающих плазмоны;
- n_4 - концентрация экситонов;
- n_5 - концентрация фотонов, которыми мы описываем создаваемое плазмонами поле в наноразмерной области между Ag-покрытием и ZnO;
- n_6 -концентрация фононов, возникающих за счет нагрева
- H – вероятность излучательной рекомбинации экситонов (H < R);
- C – вероятность ухода фотонов из системы;
- S – вероятность попадания фотонов в Ag-покрытие с образованием плазмонов;
- A – характеристика вероятности рекомбинации экситонов под действием резонансного поля, создаваемого плазмонами;
- L_A – описывает влияние нагрева системы на параметр A.

$$\frac{dn_3}{dt} = Pexp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right) - (\mathrm{M}+\mathrm{B})n_1 n_3$$

- n_1 - концентрация электронов в зоне проводимости;
- n_3 - концентрация дырок в валентной зоне;
- *P*- уровень возбуждения. Приблизительная оценка показывает, что плотности энергии возбуждающего импульса 1 мДж/см2 соответствует *P = 3.3;*
- $exp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right)$ - временной ход возбуждающего импульса, соответствующий эксперименту;
- *B* – характеристика вероятности межзонной рекомбинации;
- *M* – характеристика вероятности образования экситонов.

$$\frac{dn_4}{dt} = Mn_3n_1 - Rn_4 - A(1 - L_A n_6)n_5 n_4$$

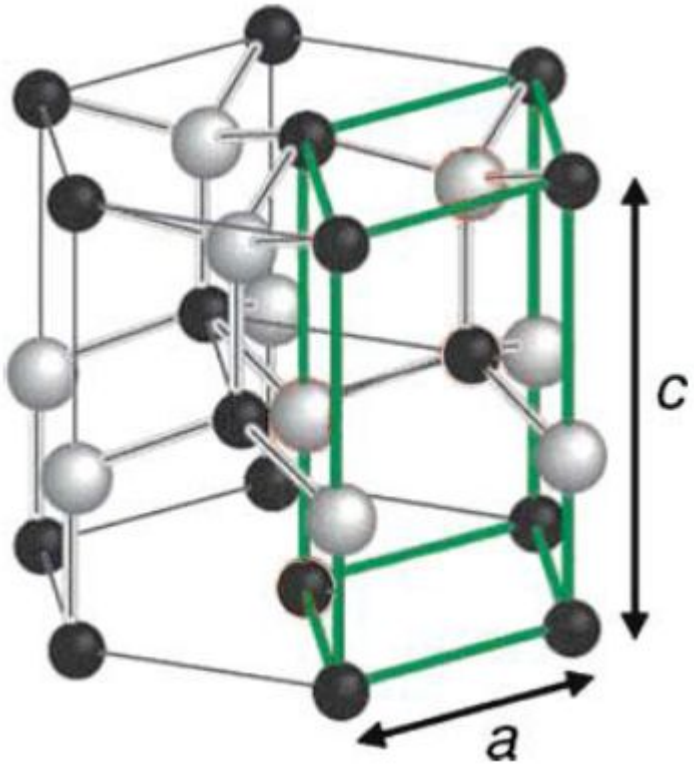
- n_4 - концентрация экситонов;
- n_1 - концентрация электронов в зоне проводимости;
- n_3 - концентрация дырок в валентной зоне;
- n_5 - концентрация фотонов, которыми мы описываем создаваемое плазмонами поле в наноразмерной области между Ag-покрытием и ZnO;
- M – характеристика вероятности образования экситонов.
- R – вероятность спонтанной рекомбинации экситонов;
- A – характеристика вероятности рекомбинации экситонов под действием резонансного поля, создаваемого плазмонами;
- L_A – описывает влияние нагрева системы на параметр A.

- $$\frac{dn_5}{dt} = N_0(1 - L_N n_6)Sn_2 - N_0(1 - L_N n_6)\, Sn_2 W(1 - L_w n_6)n_2 - Tn_5$$

- n_5 - концентрация фотонов, которыми мы описываем создаваемое плазмонами поле в наноразмерной области;
- n_6 -концентрация фононов, возникающих за счет нагрева
- n_2- концентрация фотонов возникающих в результате рекомбинации экситонов и создающих плазмоны;
- T – характеристика радиационного затухания плазмонов;
- W – характеристика джоулевых потерь в Ag-покрытии, которые определяются электросопротивлением серебра;
- L_W – характеристика зависимости сопротивления серебра от температуры.
- N_0 – коэффициент, отвечающий за возрастание поля, создаваемого плазмонами, по отношению к полю фотонов, создающих плазмоны («степень резонансности»);
- L_N – характеристика уменьшения N_0 за счет нагрева;
- S – вероятность попадания фотонов в Ag-покрытие с образованием плазмонов.

- $$\frac{dn_6}{dt} = \alpha P exp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right) + Vn_2 + Sn_2W(1 - L_w n_6)n_2 - En_6$$

- n_6 -концентрация фононов, возникающих за счет нагрева
- n_2- концентрация фотонов возникающих в результате рекомбинации экситонов и создающих плазмоны;
- α – показатель отношения энергии джоулевых потери к энергии расходуемой на возбуждение оксида цинка;
- *P*- уровень возбуждения. Приблизительная оценка показывает, что плотности энергии возбуждающего импульса 1 мДж/см2 соответствует *P = 3.3;*
- $exp\left(\frac{-(t-10)^2}{26.4}\right)$ - временной ход возбуждающего импульса, соответствующий эксперименту;
- E – вероятность затухания фонона;
- V - вероятность прямого преобразования фотона в фонон.
- *S* – вероятность попадания фотонов в Ag-покрытие с образованием плазмонов.
- *W* – характеристика джоулевых потерь в Ag-покрытии, которые определяются электросопротивлением серебра;
- L_W – характеристика зависимости сопротивления серебра от температуры.

Структура ZnO

- Ширина запрещенной зоны 3.36 эВ;
- Энергия связи экситона ~ 59 мэВ;
- Молекулярный масса: 87,37 г/моль;
- Цвет: белый;
- Плотность: 5,607 г/см3;
- a = 0.325 нм;
- c = 0.521 нм.