

резонатора в свободном режиме и с ограничивающими диафрагмами диаметром 8 мм. Без пространственной фильтрации выходное излучение из резонатора имеет многомодовую структуру. В случае установки диафрагм 8 мм, число Френеля составляет 1.3, в резонаторе Фабри-Перо формируется излучение с нулевой пространственной модой и расходимостью близкой к дифракционной. Выходной пучок имеет гауссовый профиль распределения интенсивности с энергией в импульсе 0.2 Дж. С повышением числа Френеля, в выходном пучке, наблюдается рост доли излучения с более высокими порядками пространственных мод.

#### **Заключение**

В настоящей работе рассмотрена возможность формирования коротких импульсов излучения электроразрядного ТЕА СО<sub>2</sub>-лазера, работающего в импульсно-периодическом режиме с частотой до 10 Гц. Исследовано влияние добавок азота в смесь молекулярных газов СО<sub>2</sub>:Н<sub>2</sub> = 500:50, при общем давлении Р = 0,6 атм и показано, что добавление азота в газовую смесь до 8 % способствует повышению пиковой мощности излучения без азотного «хвоста». Получена, максимальная энергия излучения 0,38Дж для импульса длительностью 30 нс на полувысоте интенсивности. Показано, что дальнейшее повышение концентрации азота от 10 до 45% приводит к росту энергии в низкоинтенсивном хвосте на заднем фронте импульса излучения. При этом максимальная энергия выходного пучка может достигать величины 1 Дж, при КПД лазера 8 %.

#### **Список литературы:**

1. Заярный Д. А., Ишханов Б. С., Каманин А. Н., Пахомов Н. И., Шведунов В. И. СО<sub>2</sub> лазер для исследования дифракционной ускоряющей структуры. Препринт НИИЯФ МГУ – 2006 – 16/815.
2. Бычков Ю.И., Орловский В.М., Осипов В.В. Особенности работы электроионизационного СО<sub>2</sub>-лазера в диапазоне давлений 1-10 атм. // Квантовая электроника.-1977.- Т.4. №11.- с. 2435-2441.
3. Иващенко М. В., Карапузиков А. И., Шерстов И. В. Формирование коротких импульсов излучения ТЕА СО<sub>2</sub> лазера при использовании газовой смеси СО<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-Н<sub>2</sub>. Квантовая электроника, 31, №11 (2001).
4. Yanzhao Lu, Xinbing Wang, Xueling Zhang, Ju Dong. Pulse behavior of a short pulse discharged TEA CO<sub>2</sub> laser. Proc. Of SPIE vol. 7276, 72760T-1
5. Moore C.B., Wood R.E., Hu B., Yardley J.T. J. Chem. Phys., V. 46.- 4222, 1967.

## **ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМАТА ЦИНКА**

*Е.Ф.Полисадова, к.ф.-м.н., доц., Ян Юй, студент гр.154В00  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-420-567  
E-mail: jeffrey5815@163.com*

#### **Введение**

Кристаллы вольфрамата цинка – сцинтилляционные материалы для детектирующих и спектрометрических систем, используемых в ядерной физике и атомной энергетике для радиационного мониторинга и цифровой радиографии, а

также для регистрации редких событий [1].  $ZnWO_4$  рассматривается в числе наиболее перспективных, поскольку обладает сцинтилляционными параметрами, близкими к характеристикам вольфрамата кадмия, но при этом имеет низкий уровень собственной радиоактивности и токсичности [2].

Современные требования к сцинтилляторам стимулируют поиск новых материалов для создания детекторов нового поколения. Использование нанокристаллических материалов позволяет получить качественно новые устройства, в том числе и сцинтилляционные, обладающие необходимыми функциональными характеристиками (чувствительность, пространственное, спектрометрическое и временное разрешение, радиационная прочность) [3]. На свойства наноматериалов оказывают существенное влияние размеры и форма частиц [4]. Целью нашей работы является исследование спектрально-кинетических закономерностей люминесценции сцинтилляционных материалов, синтезированных на основе кристаллитов  $ZnWO_4$  различной морфологии и размерности.

### Исследуемые образцы

В работе исследовались образцы композитных материалов в виде полимерной пленки СКТН-мед с введенными нано- и микрокристаллами вольфрамата цинка. Образцы были синтезированы в Институте сцинтилляционных материалов (ИСМА) (г. Харьков, Украина). Нанокристаллы (образцы ZWO-2, ZWO-3, ZWO-6, таблица 1) были получены гидротермально-микроволновым методом синтеза при разных рН

Таблица 1 – Морфология образцов сцинтилляционных материалов

Образец	свойства
ZWO-1	макрокристалл $ZnWO_4$
ZWO-2	рН 6, зерна размером 25 нм
ZWO-3	рН 8, стержни длиной 50-100 нм, диаметр 5-7 нм
ZWO-6	рН 10, стержни длиной 150-200 нм, диаметр 10 нм
ZWO-7	раздробленные кристаллы размером $\leq 250$ мкм
ZWO-8	раздробленные кристаллы размером $\leq 250$ нм

раствора. Для приготовления растворов использовались  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  «хч»,  $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$  «осч»,  $NH_4OH$  «ч.д.а.» и  $HNO_3(99,99\%)$  производства фирмы Merck. Все растворы готовились на дистиллированной воде без дополнительной очистки исходных веществ. Величина рН определяет морфологию синтезируемых частиц. При рН=6 формируются зерна кристаллов с размерами 25 нм. Увеличение рН способствует формированию кристаллов в виде стержней: при рН=8 длиной 50-100 нм с диаметром 5-7 нм; при рН=10 длиной 100-200 нм с диаметром 10 нм. Контроль размерности и морфологии частиц проводился методом электронной микроскопии в ИСМА. Объемный кристалл  $ZnWO_4$  (ZWO-1, таблица 1) был выращен методом Чохральского из шихты, изготовленной методом твердофазного синтеза из  $ZnO$  (HP 99,995% Umicore Zinc Chemicals) и  $WO_3$  (99,995% НЕОХИМ, Москва) в платиновом тигле с использованием индукционного нагрева. Кристаллы для образцов ZWO-7, ZWO-8 были получены методом механического измельчения объемных кристаллов с дальнейшим отделением нужной фракции с помощью вибросита.

В качестве полимерной основы для композитных материалов использовался синтетический кремнийорганический термостойкий низкомолекулярный каучук, обладающий прозрачностью, достаточной химической стойкостью.

### Методика эксперимента

В работе использовалась методика импульсной катодолюминесцентной спектроскопии с наносекундным временным разрешением. Исследование характеристик свечения исследуемых образцов проводилось на импульсном оптическом спектрометре, на базе ускорителя электронов ГИН-600. Импульсный спектрометр позволяет проводить измерения спектрально-кинетических параметров люминесценции оптических материалов после возбуждения сильноточным электронным пучком с длительностью импульса на полувывоте 10 нс, средней энергией электронов 250 кэВ, плотность энергии возбуждения составляла  $\sim 15$  мДж/см<sup>2</sup>. Амплитуда вспышки в заданный момент времени определялась из кинетики люминесценции, регистрируемой на определенной длине волны излучения с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-97 и осциллографа Lecroy350 (350 МГц), выделение нужной длины волны производилось с помощью монохроматора МДР-3. Исследования проводились в спектральном диапазоне 400-600 нм, при комнатной температуре. Спектры приведены с учетом спектральной чувствительности фотоприемника.

### Результаты и обсуждение

Исследовалась эволюция спектров люминесценции образцов после окончания импульса возбуждения. Спектр свечения представлен широкой полосой в видимом диапазоне. В начальный момент времени после воздействия импульса электронов максимум спектра приходится на 290 нм для большинства образцов (рис.1). Для объемного кристалла и образцов, полученных из измельченных частиц со средним размером 250 нм – 250 мкм спектры практически совпадают (рис.1, образцы ZWO-1, 7, 8). Особенности проявляются в спектрах образцов, полученных на основе наночастиц. Так, для образца ZWO-2 максимум спектра лежит в области 420 нм (рис.1), при этом наблюдается дополнительный слабый пик в области 500 нм. В спектрах образцов ZWO-3, ZWO-6 в области 420-430 нм также наблюдается пик люминесценции.

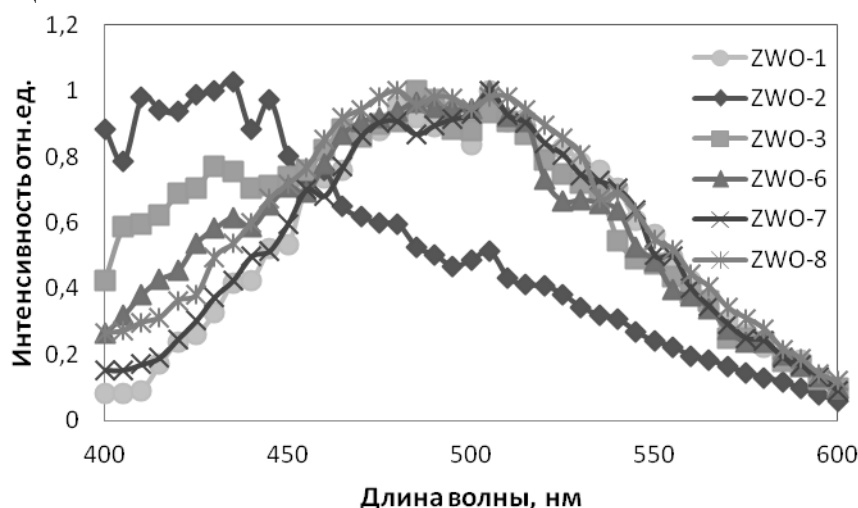


Рис. 1. Амплитудные спектры импульсной катодолюминесценции образцов композитных материалов на основе вольфрамата цинка и объемного кристалла  $ZnWO_4$ , измеренный в начальный момент времени после возбуждения электронным пучком

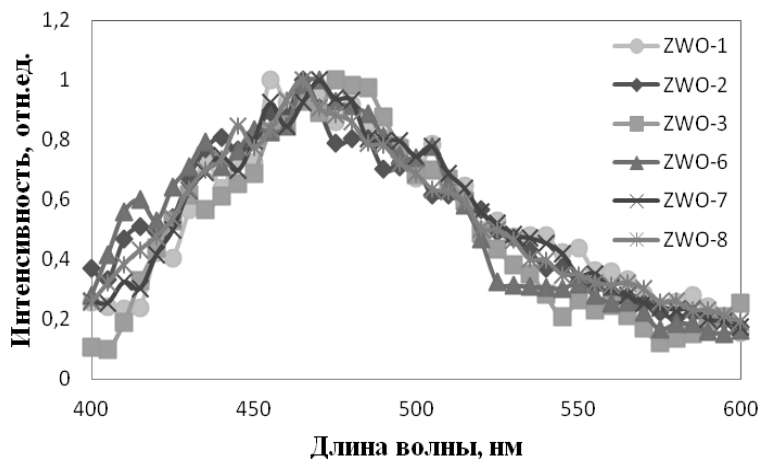


Рис. 2. Спектры импульсной катодолуминесценции образцов композитных материалов на основе вольфрамата цинка и объемного кристалла  $ZnWO_4$ , измеренные через 2 мкс после окончания импульса возбуждения

В спектрах свечения, измеренных через 2 мкс после воздействия возбуждающего импульса наблюдается совпадение положения максимума,  $\lambda_{max} \approx 480$  нм. Форма спектра практически одинакова для всех образцов (рис.2). Полоса свечения на 490 нм, как считает большинство исследователей связана с собственными дефектами кристалла вольфрамата цинка [2,5]. Природу излучения связывают со свечением молекулярного комплекса  $[WO_6]^6$  в структуре кристалла. Были исследованы кинетики затухания люминесценции в диапазоне до 2,5 мкс в нескольких спектральных областях: 435, 480 и 580 нм. Обнаружено, что для образцов ZWO-2, ZWO-3, ZWO-6 характерно наличие коротковременной стадии затухания (рис.3), время затухания этой стадии менее 500 нс. Можно отметить, что для образца вклад коротковременной составляющей в кинетику для образца ZWO-2 достаточно велик, по сравнению с другими образцами. Затухание интенсивности в диапазоне 0,5-2,5 мкс для образцов ZWO-2, ZWO-3, ZWO-4, содержащих наноразмерные частицы, происходит быстрее, чем для образцов с крупными частицами (ZWO-7, ZWO-8) монокристалла. Кинетики для образцов ZWO-7 и ZWO-8, в которых используются измельченные частицы кристалла, и монокристалла вольфрамата цинка, как показывают результаты, практически идентичны (рис.3).

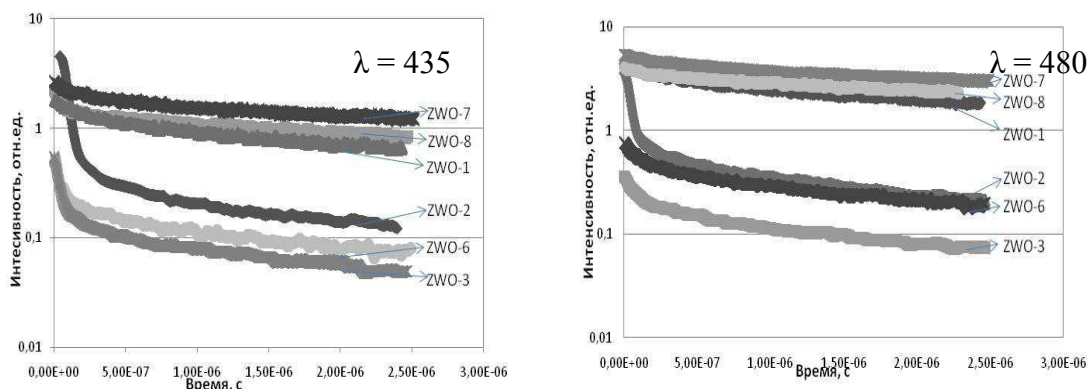


Рис. 3. Кинетика затухания люминесценции композитных образцов на основе нано- и микрокристаллов вольфрамата цинка и монокристалла при возбуждении электронами

Анализ кинетики затухания в полосе 480 нм также показывает наличие коротковременной стадии затухания для образца с нанокристаллами в виде зерен ZWO-2. Для образцов ZWO-3 и ZWO-6 эта стадия менее выражена (рис.3). Кинетики затухания в микросекундном диапазоне для всех исследованных образцов в спектральных областях 435 нм и 480 нм подобны. Характерным является большая скорость затухания для образцов с нанокристаллами.

Влияние размера частиц, введенных в полимерную матрицу на спектральные и временные характеристики может быть связано с изменением энергетической структуры кристаллов вольфрамата цинка в наноструктурном состоянии [6]. Изменение ширины запрещенной зоны наночастиц может приводить к изменению вероятности излучательных переходов между уровнями.

Как было показано, спектральный состав люминесценции одинаков для образцов, полученных путем дробления кристаллов и для монокристалла. Для образцов с наноразмерными кристаллами, полученными методом гидротермального синтеза характерно наличие полосы люминесценции в области 420 нм, не свойственной для монокристалла вольфрамата цинка. Это свидетельствует о различном дефектном составе образцов, синтезированных по различным технологиям. Кроме того, на спектрально-кинетические характеристики люминесценции может оказывать влияние собственное свечение полимерной матрицы. Однако, как показали исследования, люминесцентные свойства образцов на основе синтетического каучука ZWO-2, ZWO-3, ZWO-6, ZWO-7, ZWO-8 в основном определяются технологией получения частиц, их размером и морфологией.

### **Выводы**

Установлено, что на спектральные и кинетические характеристики катодолюминесценции сцинтилляционных материалов на основе нано- и микрокристаллов вольфрамата цинка, внедренных в полимерную матрицу определяются технологией получения кристаллов, размером частиц. Таким образом, путем подбора гранулометрического состава порошков вольфрамата цинка, используемых для производства сцинтилляционных материалов, возможно получение сцинтилляторов с оптимальными временными параметрами затухания люминесценции и с заданным спектральным составом. Полученные результаты будут полезны для совершенствования технологий синтеза  $ZnWO_4$ , разработки новых сцинтилляционных кристаллов.

### **Список литературы:**

1. M. Globus, B. Grinyov, Jong Kyung Kim. Inorganic Scintillators for Modern and Traditional Applications. – Institute for Single Crystals Ukraine. Kharkiv, 2005. – 584 p.
2. L. L. Nagornaya, B. V. Grinyov, A. M. Dubovik et al. Large volume  $ZnWO_4$  crystal scintillators with excellent energy resolution and low background // IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 56, no. 3, pt. 2, pp.994–997, Jun. 2009.
3. N.V. Klassen, VN. Kurlov, SN Rossolenko etc. Scintillation fibers and nanoscintillators for improve of spatial, spectrometric and temporal resolution of radiation detectors. Izvestiya. A series of physical. - T. 73, № 10. - 2009. - S.1451-1456.

4. П.Н.Жмурин, Ю.В.Малюкин «Спектроскопия редкоземельных ионов в объемных и наноразмерных кристаллах». – Харьков: «Ин-т монокристаллов», 2007. – 338 стр.
5. A. E. Ovechkin et al. Luminescence of ZnWO<sub>4</sub> and CdWO<sub>4</sub> // Crystals. phys. stat. sol. (a) 103, 285 (1987).
6. N. V. Minh, N. M. Hung. A Study of the Optical Properties in ZnWO<sub>4</sub> Nanorods Synthesized by Hydrothermal Method // Materials Sciences and Application, 2011, 2, 988-992.