

**Список литературы:**

1. Jiang Y. Carrier Lifetimes and Threshold Currents in HgCdTe Double Heterostructure and Multi-quantum-Well Lasers / Y. Jiang, M.C. Teich, W.I. Wang // J. Appl. Phys. – 1991. – Vol. 69 (10). – P. 6869–6875.
2. Войцеховский А.В. Анализ спектров фотолюминесценции гетероэпитаксиальных структур на основе  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  с потенциальными и квантовыми ямами, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии / А.В. Войцеховский, Д.И. Горн, И.И. Ижнин, А.И. Ижнин, В.Д. Гольдин, Н.Н. Михайлов, С.А. Дворецкий, Ю.Г. Сидоров, М.В. Якушев, В.С. Варавин // Изв. вузов: Физика. – 2012. – № 8. – С. 50–55.
3. Stimulated emission at 2.8  $\mu\text{m}$  from Hg-based quantum well structures grown by photoassisted molecular beam epitaxy / N.C. Giles, J.W. Han, J.W. Cook Jr., J.F. Schetzina // Applied Physics Letters. – 1989. – V. 55. – P. 2026–2028.
4. Stimulated emission from  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  epilayer and  $\text{CdTe}/\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  heterostructures grown by molecular-beam epitaxy / K.K. Mahavadi, S. Sivananthan, M.D. Lange, X. Chu, J. Bleuse, J.P. Faurie // J. Vac. Sci. Technol. – 1990. – V. 8 (2). – P. 1210–1214.
5. Cavity structure effects on  $\text{CdHgTe}$  photopumped heterostructure lasers / J. Bleuse, N. Magnea, J.-L. Pautrat, H. Mariette // Semicond. Sci. Technol. – 1993. – V. 8. – P. 5286–5288.
6. Optical gain and laser emission in  $\text{HgCdTe}$  heterostructures / J. Bonnet-Gamard, J. Bleuse, N. Magnea, J. L. Pautrat // J. Appl. Phys. – 1995. – V. 78 (12). – P. 6908–6915.
7. II-VI infrared microcavity emitters with 2 postgrowth dielectric mirrors / C. Roux, P. Filloux, G. Mula, J.-L. Pautrat // Journal of Crystal Growth. – 1999. – V. 201/202. – P. 1036–1039.
8. Room-temperature optically pumped  $\text{CdHgTe}$  vertical-cavity surface-emitting laser for the 1.5  $\mu\text{m}$  range / C. Roux, E. Hadji, and J.-L. Pautrat // Applied Physics Letters. – 1999. – V. 75 (12). – P. 1661–1663.

**ВРЕМЯ-РАЗРЕШЕННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ  $\text{CsI}(\text{CO}_3)$**

*Даулет З., студент гр. АНМ21*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30*

E-mail: zein888@mail.ru

**Введение**

Возрастающая потребность в высокоэффективных сцинтилляторах обусловлена расширением использования радиационного излучения во многих сферах человеческой деятельности: медицинская диагностика, радиотерапия, неразрушающий контроль, атомная энергетика, геологическая разведка, дозиметрия и контроль ионизирующего излучения и пр. Согласно [1,2], кристаллы  $\text{CsI}(\text{CO}_3)$  являются перспективным сцинтилляционным материалом, пригодным для детектирования ионизирующих излучений в широком интервале энергий. Однако, закономерности сцинтилляционного процесса и природа излучающих состояний в этих кристаллах изучены явно недостаточно. В настоящей работе приводятся

результаты изучения закономерностей формирования сцинтилляционного импульса кристаллов CsI(CO<sub>3</sub>) с использованием время-разрешающей техники оптической спектроскопии.

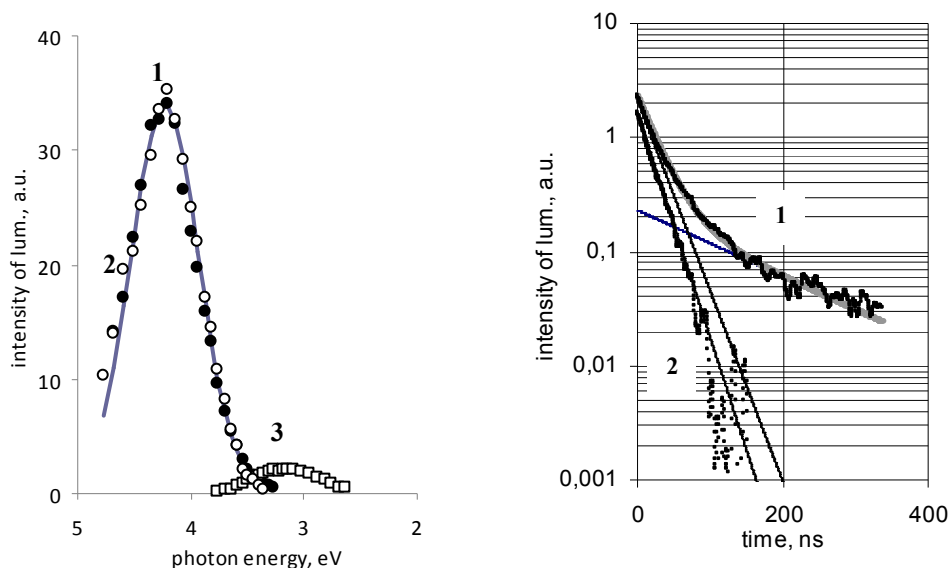
### Эксперимент

Для исследований использовались образцы монокристаллов CsI:  $2,8 \cdot 10^{-3}$  mol% CO<sub>3</sub>, выращенных в Институте сцинтилляционных материалов НАН Украины. Характеристики создаваемых электронным пучком центров окраски и люминесценции изучались на оптическом спектрометре [3] с помощью монохроматора МДР-3, фотоумножителей ФЭУ-83, ФЭУ-106 и осциллографа LeCroy в интервале температур 80...300 К, длин волн 250 – 1100 нм с временным разрешением 7 нс. Источником возбуждения служил наносекундный ускоритель электронов с параметрами: средняя энергия электронов 250 кэВ, длительность импульса 15 нс, плотность энергии 0,003...0,16 Дж/см<sup>2</sup>. В качестве источника зондирующего света использовалась импульсная лампа ИПП-5×75.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рисунке 1 показан вид спектров люминесценции «чистых» и активированных карбонат – ионами кристаллов CsI, измеренных с различной задержкой относительно окончания импульса облучения пучком электронов при 295 К. Непосредственно после окончания импульса облучения спектры представлены полосой правильной формы с максимумом при 4,15 эВ и полушириной около 0,7 эВ (1, 2 на рис.1), по параметрам соответствующей люминесценции автолокализованных двухгалоидных экситонов (STE) в собственной подрешетке кристаллов CsI [4]. Можно отметить, что введение примеси карбонат-ионов не влияет на форму спектра STE. Со временем после облучения интенсивность люминесценции STE быстро убывала – так как это показано в полулогарифмическом масштабе на рис.2. Можно видеть, что кривые хорошо описываются экспоненциальной зависимостью интенсивности от времени; при этом затухание свечения неактивированного кристалла содержит две экспоненциальные стадии, показанные на рисунке сплошными линиями; в кристалле с карбонатом кинетика затухания является моноэкспоненциальной с постоянной времени около 20 нс. Этот результат, демонстрирующий резкое влияние примеси на кинетические параметры собственной люминесценции кристаллов CsI, представляется нетривиальным и имеющим к тому же важное прикладное значение ввиду перспективности использования неактивированных кристаллов CsI в качестве быстродействующих сцинтилляторов. В спектре, измеренном через 250 нс после облучения, наблюдается полоса в более длинноволновой области с максимумом при 3.0 эВ и FWHM =  $0,7 \pm 0,02$  эВ (3 на рис.1), обусловленная, согласно [1,2], наличием примеси CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Затухание люминесценции в этой области происходило не в нано- а в микросекундном временном диапазоне так, что общее число высвеченных в полосах 4.15 и 3.0 эВ фотонов было примерно одинаковым. Вид спектров люминесценции и наводимого импульсным электронным пучком короткоживущего оптического поглощения показан на рис. 3. Спектр люминесценции является неэлементарным, обусловленным наложением двух полос гауссовой формы с максимумами при 3,2 и

2.8 эВ и одинаковой полушириной около 0,5 эВ, что хорошо согласуется с данными



из [2].

Рис.1. Спектры люминесценции неактивированного (1) и содержащего  $6,3 \cdot 10^{-3}$  мол %  $\text{CO}_3$  (2,3) кристаллов CsI, измеренные с различной задержкой  $t_d$  относительно окончания импульса электронного облучения при 297 К. 1,2 -  $t_d = 0$  нс; 3 -  $t_d = 250$  нс. Рис.2. Осциллограммы затухания люминесценции в полосе 4.15 эВ кристаллов CsI (1) и CsI:CO<sub>3</sub> (2) после облучения при 297 К.

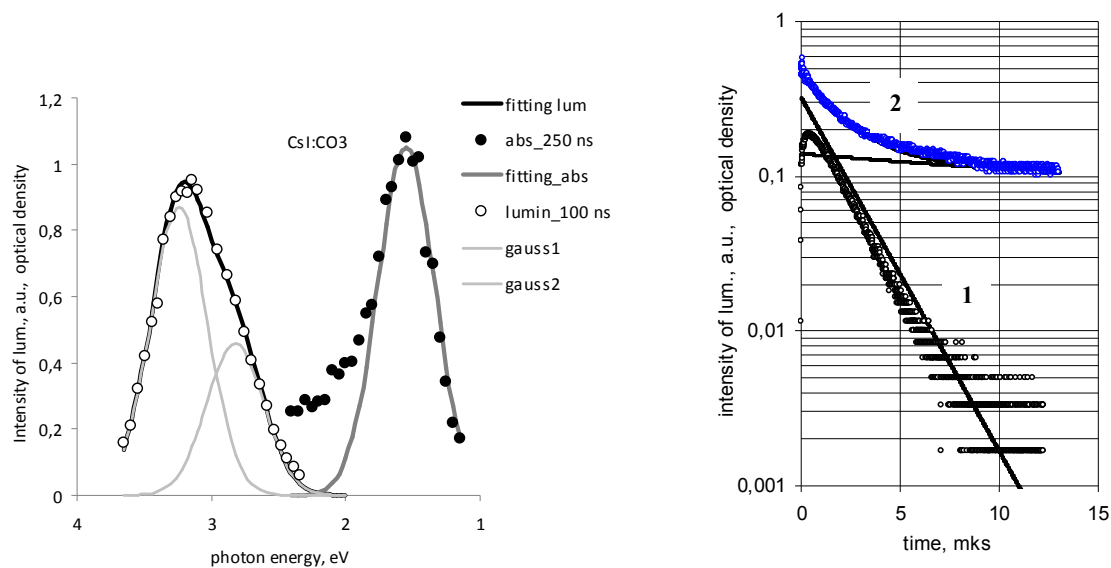


Рис. 3. Спектры люминесценции и короткоживущего оптического поглощения, измеренные через 250 нс после окончания импульса облучения при 297 К.

Рис.4. Кинетические кривые изменения интенсивности люминесценции при 3.1 эВ (1) и оптической плотности при 1.5 эВ (2) после импульсного облучения при 297 К.

Вид осциллограммы импульса люминесценции в полосе 3,0 эВ при 295 К показан в полулогарифмическом масштабе на рис.4 кривой 1. Форма импульса характеризуется наличием выраженной стадии нарастания интенсивности после

окончания облучения; максимум свечения достигается ко времени около 250 нс. С дальнейшим увеличением времени наблюдается спад интенсивности по экспоненциальному временному закону. В целом экспериментальные кривые наилучшим образом могут быть описаны выражением вида

$$I(t) = I_{\max} \cdot (1 - e^{-t/\tau_{rise}}) \cdot e^{-t/\tau_{lum}}; \quad (1)$$

Здесь  $I_{\max}$  – интенсивность;  $\tau_{rise}$  – константа времени нарастания интенсивности,  $\tau_{lum}$  – постоянная времени затухания люминесценции.

Было обнаружено, что при импульсном облучении в кристалле с высокой эффективностью наводится окраска, спектральный состав которой охватывает широкую область 2,5 – 1 эВ; длинноволновый край спектра хорошо описывается гауссианом с  $E_{\max} = 1.45$  эВ и  $FWHM = 0,5$  эВ (рис.3). По спектральным параметрам эта полоса близко соответствует полосе поглощения F – центров в кристалле иодида цезия [3]. Спад оптической плотности после облучения (восстановление прозрачности образца) наилучшим образом описывался совокупностью экспоненциального и гиперболического составляющих вида

$$D(t) = D_1 \cdot \exp(-t/\tau_{abs}) + D_2 \cdot (1 + \alpha \cdot t)^{-1}, \quad (2)$$

где  $\tau_{abs}$  и  $\alpha$  – временные константы.

Результаты аппроксимации экспериментальной кривой выражением (2) показаны на рис. 4 сплошными линиями. Из данных рис.4 можно видеть, что значения постоянных времени экспоненциального затухания активаторной люминесценции при 3.0 эВ и спада оптической плотности в полосе 1.45 эВ совпадают между собой  $\tau_{abs} = \tau_{lum}$ . Такое совпадение представляется не случайным и предполагает возможность образования в решетке активированных карбонат-ионами кристаллов CsI окологризмесных двухгалоидных экситонов (см., например, [5]), электронный компонент которых локализован на анионной вакансии, компенсирующей избыточный заряд ионов  $CO_3^{2-}$ .

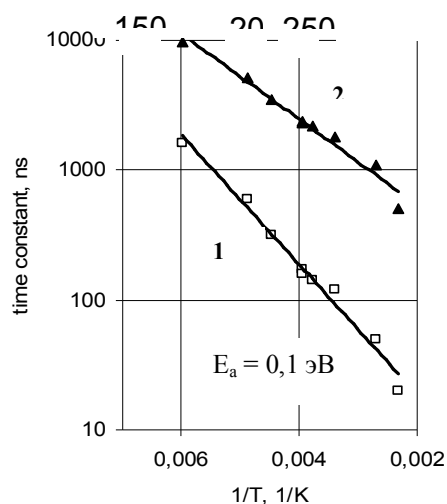
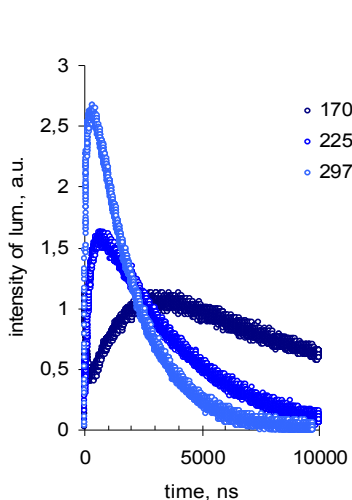


Рис.5. Осциллограммы люминесценции в полосе 3.1 эВ при различных значениях температуры. Рис.6. Зависимости от  $T$  постоянных времени нарастания (1) и затухания (2) люминесценции в полосе 3.1 эВ

Как показали исследования, значения входящих в (1) временных констант существенным образом зависели от температуры образца при облучении. Уменьшение температуры ниже комнатной приводило к увеличению длительности обеих стадий, - и нарастания, и спада интенсивности люминесценции, что

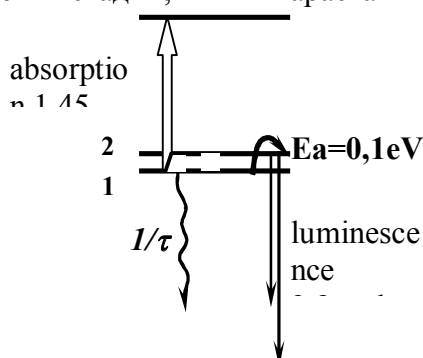


Рис.7. Диаграмма уровней околопримесного экситона в

(ОПЭ), схематически изображенной на рис. 7. Структурная формула ОПЭ может быть записана в виде  $[I_2^- \nu_a^+ e^- CO_3^{2-}]$ . При низких температурах спонтанная аннигиляция таких экситонов происходит безызлучательно аналогично тому, как это происходит в парах расположенных в соседних анионных узлах F- и H – центров окраски в кристаллах типа KCl [6]. Вероятность спонтанной аннигиляции определяет время жизни ОПЭ и, соответственно, длительность затухания активаторной люминесценции. Стадия разгорания люминесценции обусловлена термически активированными переходами электронов с нижнего метастабильного уровня (1 на рис.7) на верхний излучательный уровень (2 на рис.7), связанными с необходимостью преодоления активационного барьера  $E_a = 0,1$  эВ.

### Список литературы:

1. Виноград Э.Л., Горилецкий В.И., Панова А.Н. и др. Оптические и сцинтилляционные свойства кристаллов CsI с добавкой Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>//О.и С. – 1990. – т.69, в.5. – с.1185 – 1186.
2. Виноград Э.Л., Горилецкий В.И., Корсунова С.П. и др. Спектрально-кинетические свойства кристаллов CsI(CO<sub>3</sub>) // О.и С. – 1993. – т.75, в.5. – с.996 – 1000.
3. Гафиатулина Е.С., Чернов С.А., Яковлев В.Ю. Создание экситонов и дефектов в кристалле CsI при импульсном электронном облучении // ФТТ. - 1998.- Т. 40, №4. -С. 640–644.
4. Nishimura H., Sakata M., Tsujimoto T., and Nakayama. Origin of the 4.1 eV luminescence in pure CsI scintillator // Phys.Rev. В 1995. V. 51, N4. P. 2167–2172.
5. Малышев А.А., Яковлев В.Ю. Релаксированные гетероядерные экситоны в кристалле KCl:I// ФТТ. - 1982. – т. 24, в.8. - с.2296-2299.
6. Денисов И.П., Яковлев В.Ю. Создание центров окраски в щелочно-галоидных кристаллах при импульсном радиационном возбуждении// ФТТ. – 1990. – т. 32, №2. - с.56-62.