

УДК 621.315.592

Галян<sup>1</sup> В.В., Іващенко<sup>2</sup> І.А., Олексюк<sup>2</sup> І.Д., Федосов<sup>1</sup> С.А., Третьяк<sup>1</sup> А.П., Данилюк<sup>3</sup> І.В., Лебедь<sup>4</sup> О.О., Кевшин<sup>1</sup> А.Г., Тищенко<sup>2</sup> П.В.

<sup>1</sup>Кафедра експериментальної фізики та інформаційно-вимірювальних технологій, Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Україна;

<sup>2</sup>Кафедра неорганічної та фізичної хімії, Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Україна;

<sup>3</sup>Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Україна

<sup>4</sup>Кафедра хімії та фізики, Національний університет водного господарства та природокористування

### МЕХАНІЗМ ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ МОНОКРИСТАЛУ $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$

*Монокристал  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  вирошений методом розчину-розплаву і опромінений  $\gamma$ -променями дозою 420, 1260, 2520, 5040 Гр з допомогою джерела  $^{60}\text{Co}$ . Зафіксовано інтенсивне люмінесцентне випромінювання в інтервалах 1,48 – 1,61 і 0,75 – 0,86 еВ при збудженні лазером із довжиною хвилі 532 нм. Побудовано діаграму енергетичних рівнів для іонів Ербію та встановлено механізм випромінювання, в якому важливу роль відіграє процес кросрелаксації. При високих дозах опромінення (2520, 5040 Гр) відбувається збільшення інтенсивності люмінесцентного випромінювання, яке пов'язується із ростом концентрації  $\gamma$ -індукованих дефектів кристалу.*

**Ключові слова:** фотолюмінесценція, кросрелаксація, спектр поглинання.

#### Вступ

Отримання нових матеріалів і дослідження їх властивостей є одним із основних напрямків сучасного матеріалознавства. Введення до бінарних, тернарних сполук [1-3] легуючих домішок, зокрема рідкісноземельних металів [4-6], створює передумови для виготовлення активних і пасивних середовищ в лазерній техніці та телекомунікаціях. Крім того, особливу увагу науковці приділяють властивостям кристалічних та аморфних середовищ, які здатні стабільно проявляти фотолюмінесценцію (ФЛ) високої інтенсивності та нелінійно-оптичні властивості під впливом радіації [7, 8]. Оптичні методи реєстрації  $\gamma$ -опромінення є перспективними завдяки високій чутливості, селективності і можливістю використання в різних середовищах. Люмінесцентне випромінювання найбільше чутливе до  $\gamma$ -променів, внаслідок їх високої проникної здатності. Крім того, створення радіаційно-стійких матеріалів є одним із основних завдань радіаційної фізики та хімії твердого тіла для використання в космічних технологіях оптоелектронної техніки.

Для дослідження сцинтиляційних матеріалів, в якості активаторів легуючої домішки, часто слугують рідкісноземельні метали Ce, Nd, Pr, Eu [9, 10, 11].

Крім того, аналізують  $\gamma$ -опромінені кристали і стекла, леговані Ербієм, їх застосовують в якості середовищ в оптоволоконних мережах, оптичних підсилювачах та телекомунікаціях, тому мотивами дослідження є радіаційна стійкість, та вплив  $\gamma$ -опромінення на втрати оптичного сигналу [12, 13]. Необхідно відзначити, що деякі кристали і стекла, леговані Ербійом, вивчають, як сцинтилятори радіаційного опромінення [14, 15].

В наших попередніх дослідженнях [16] в системі  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{In}_2\text{S}_3$  зафіксовані дві потрібні сполуки:  $\text{GaInS}_3$  та  $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{1.3}\text{S}_3$ . Сполука  $\text{GaInS}_3$  утворюється по перитектичній реакції  $\text{L} + \text{In}_2\text{S}_3 \leftrightarrow \text{GaInS}_3$  при 1190 К, кристалізується в гексагональній сингонії, пр. гр.  $P6_3$ ,  $a = 0.6655(4)$  нм,  $c = 1.7950(3)$  нм, володіє областю гомогенності, яка при 820 К складає 47-57 мол.%  $\text{In}_2\text{S}_3$ .

Крім того, X-променевою фотоелектронною спектроскопією ми дослідили внутрішні оболонки і валентну зону для вихідного і бомбардованого іонами Аг поверхні монокристалу  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  [17]. Виявлено, що цей монокристал був радіаційно стійкий по відношенню до Аг-іонного бомбардування. Зокрема, така обробка не викликає яких-небудь істотних змін значень енергій зв'язку електронів із внутрішніх оболонок, а також форми рентгенівських фотоелектронних спектрів (XPS) на рівні внутрішніх оболонок і валентної зони монокристалу. В роботі [17] вважається, що введення Ербію в решітку  $(\text{Ga}_{55}\text{In}_{45})_2\text{S}_{300}$  не приводить до значних змін в особливостях хімічного зв'язку вихідного (нелегованого Ербієм) монокристалу.

© Галян<sup>1</sup> В.В., Іващенко<sup>2</sup> І.А., Олексюк<sup>2</sup> І.Д., Федосов<sup>1</sup> С.А., Третьяк<sup>1</sup> А.П., Данилюк<sup>3</sup> І.В., Лебедь<sup>4</sup> О.О., Кевшин<sup>1</sup> А.Г., Тищенко<sup>2</sup> П.В.

Метою цієї роботи є дослідження впливу  $\gamma$ -опромінення на спектри ФЛ в монокристалі  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$ .

### Синтез сплавів, методика та техніка експерименту

Ми отримали монокристал  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$ , методика та умови отримання якого підбрані з діаграми стану системи  $\text{Ga}_2\text{S}_3 - \text{In}_2\text{S}_3$  та термограми охолодження зразка, по якій визначали температуру переохолодження. Використали розчин-розплавний метод, переохолодження розчину-розплаву становило 70 К. Синтез вихідного сплаву при максимальній температурі 1200 К та ріст кристалу проводили в одному вакуумному кварцовому контейнері з дном у вигляді конуса і перетяжкою з діаметром отвору 2 мм. Процес росту проходив у вертикальній двозонній печі. Максимальна температура становила 1200 К, градієнт температури на фронті кристалізації складав 20 К/см. Після розплавлення шихти, ампулу опускали з максимальною швидкістю. Після кристалізації 10 мм розплаву, по довжині ампули, ріст зупиняли, після чого проводили в зворотному напрямі розплавлення 6.0-8.0 мм закристалізованого розплаву і протягом 100 годин здійснювали відпал. Далі проводили вирощування монокристалу при швидкості опускання 5 мм/добу. Після завершення процесу обидві печі охолоджували до 820 К зі швидкістю 50-70 К/добу і відпалювали отриманий монокристал протягом 100 годин. Після цього охолоджували установку в режимі виключеної печі. Отримано монокристал оранжево-жовтого кольору, діаметром 14 мм і довжиною 20 мм. Компонентний склад і структуру вирощеного монокристалу досліджено з допомогою SEM та EDS-аналізу [18].

Дослідження спектрів оптичного поглинання та ФЛ проводилось за стандартною методикою синхродетектування, обладнаною сучасною системою АЦ-перетворювача, монохроматором МДР-206 при кімнатній температурі. Приймання сигналу ФЛ проводилось із тієї ж площини поверхні зразка, що і збудження. Реєстрація сигналу проводилась Si та PbS фотоприймачами. Збудження люмінесценції здійснювалось лазером із максимумом випромінювання 532 нм і потужністю 150 мВт.

Опромінення кристалу проведено джерелом  $^{60}\text{Co}$  на повітрі при температурі навколишнього середовища. Середня енергія падаючих  $\gamma$ -променів була близькою до 1,25 МеВ. Поглинута доза виміряна з використанням пристрою VDEG2-34 SP-1 для виявлення і вимірювання  $\gamma$ -квантів. Діапазон реєстрації  $\gamma$ -променів варіюється в межах значень 0,05 – 3 МеВ. Для дослідження вирізались зразки із центральної частини монокристалу, які опромінювались дозами 420, 1260, 2520, 5040 Гр.

### Результати експерименту та обговорення

Досліджено спектр оптичного поглинання у видимому та близькому інфрачервоному діапазоні монокристалу  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  (рис. 1). Як бачимо на графіку зафіксовано вузькі смуги поглинання із максимумами 0,81, 1,27, 1,53, 1,88, 2,34 еВ. Ці максимуми відповідають внутрішньозонним переходам із основного  $^4\text{I}_{15/2}$  в збуджені стани  $^4\text{I}_{13/2}$ ,  $^4\text{I}_{11/2}$ ,  $^4\text{I}_{9/2}$ ,  $^4\text{F}_{9/2}$ ,  $^2\text{H}_{11/2}$  іонів  $\text{Er}^{3+}$  відповідно.

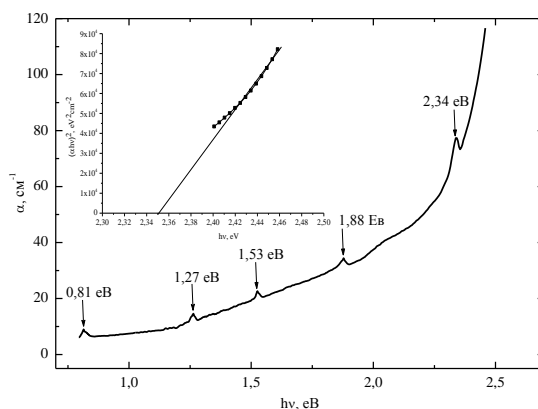


Рис. 1. Спектр оптичного поглинання монокристалу  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$

На вставці рис. 1 побудовано залежність  $(\alpha h\nu)^2 = f(h\nu)$  і на основі відомої формули [19] для прямих переходів визначено ширину забороненої зони кристалу:

$$\alpha = A \frac{(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}}}{h\nu} \quad (1)$$

де:  $\alpha$  – коефіцієнт поглинання,  $E_g$  – ширина забороненої зони,  $A$  – константа.

Визначене значення  $E_g = 2,35$  eV, є дещо меншим, як в роботі І.Р. Амірасланова [20], який отримав монокристали GaInS<sub>3</sub> методом хімічно-транспортних реакцій. Відмінності пов'язані із різною технологією отримання монокристалів, а також введенням домішки Ербію.

Крім того, ми дослідили спектри ФЛ неопроміненого і опроміненого різними дозами монокристалу (Ga<sub>54.59</sub>In<sub>44.66</sub>Er<sub>0.75</sub>)<sub>2</sub>S<sub>300</sub> (рис. 2, 3) за кімнатної температури при збудженні лазером із довжиною хвилі 532 нм (2,33 eV). Як бачимо із рисунків, у видимому і близькому інфрачервоному діапазоні зафіксовано інтенсивні смуги випромінювання із максимумом 1,53 і 0,81 eV, що відповідає переходам в іонах Ербію  $^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ,  $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$  відповідно. У всіх зразках розташування та форма спектрів випромінювання зберігається і зростає при опроміненні до 2520 Гр. Зауважимо, що явище збільшення інтенсивності фотолюмінесценції та фоточутливості кристалу GaS:Er<sup>3+</sup> після  $\gamma$ -опромінення спостерігали Р. С. Мадатов, Т. Б. Тагієв та ін. [21]. При подальшому збільшенні дози опромінення до 5040 Гр інтенсивність максимуму при 1,53 eV не зазнає видимих змін, а при 0,81 eV незначно зменшується.

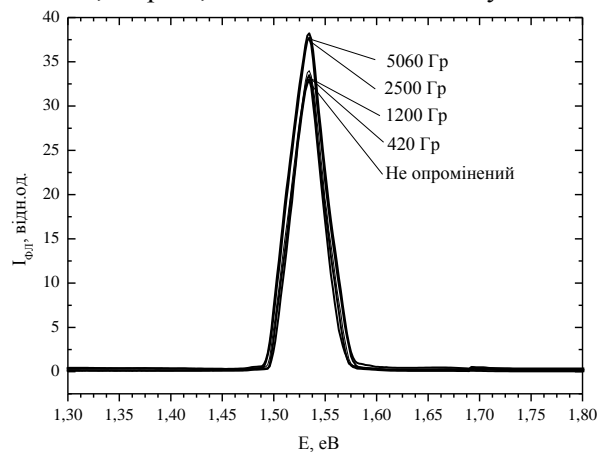


Рис. 2. Видимий діапазон спектрів ФЛ неопроміненого і опроміненого при різних дозах монокристалу (Ga<sub>54.59</sub>In<sub>44.66</sub>Er<sub>0.75</sub>)<sub>2</sub>S<sub>300</sub>

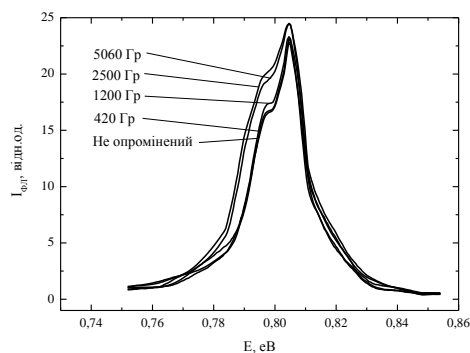


Рис. 3. Інфрачервоний діапазон спектрів ФЛ неопроміненого і опроміненого при різних дозах монокристалу (Ga<sub>54.59</sub>In<sub>44.66</sub>Er<sub>0.75</sub>)<sub>2</sub>S<sub>300</sub>

Для того щоб зрозуміти механізм випромінювання ми звернулись до діаграми енергетичних переходів в іонах Ербію (рис. 4). Збудження із довжиною хвилі 532 нм (2,33 eV) переводить іони Ербію із основного в збуджений стан  $^2H_{11/2}$ . Існування інтенсивних смуг ФЛ із максимумами 1,53 і 0,81 eV забезпечується високою концентрацією іонів Ербію в збуджених станах  $^4I_{9/2}$  і  $^4I_{13/2}$ . Перейти в ці стани іони Ербію можуть двома шляхами: 1) з допомогою кросрелаксації CR1; 2) безвипромінювальною релаксацією із стану  $^2H_{11/2}$  до станів  $^4I_{9/2}$  і  $^4I_{13/2}$ , через які відбувається ФЛ випромінювання. Безвипромінювально релаксувати у стан  $^4I_{9/2}$ , іони Ербію не можуть, внаслідок великої енергетичної відстані між станами  $^4S_{3/2} - ^4F_{9/2}$  та  $^4F_{9/2} - ^4I_{9/2}$ .

За даними роботи [22] енергетична відстань між станами  $^4S_{3/2}$  –  $^4F_{9/2}$  становить  $3071\text{ см}^{-1}$  ( $0,38\text{ еВ}$ ), а енергія фононів кристалу  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$ , згідно із даними раманівської спектроскопії [18] –  $250\text{ см}^{-1}$  ( $0,031\text{ еВ}$ ). Тому ми вважаємо, що реалізація збуджених станів  $^4I_{9/2}$  та  $^4I_{13/2}$  відбувається за участю кросрелаксаційного процесу CR1 (рис. 4).

Кросрелаксація проходить між сусідніми іонами Ербію, які знаходяться в стані  $^2H_{11/2}$  і  $^4I_{15/2}$ , внаслідок чого перший іон Ербію переходить в стан  $^4I_{9/2}$ , а другий

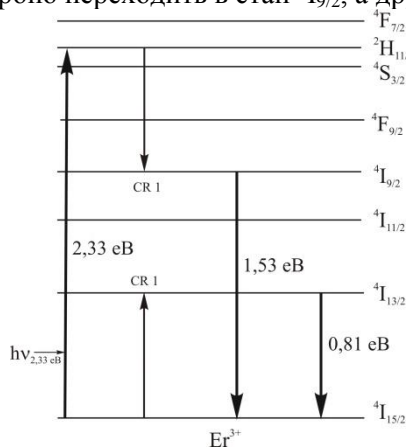


Рис. 4. Діаграма енергетичних рівнів в іонах Ербію

в стан  $^4I_{13/2}$  згідно із формулою:



Як бачимо із діаграми (рис. 4), при такому механізмі велика кількість іонів Ербію переходить в збуджені стани  $^4I_{9/2}$ ,  $^4I_{13/2}$  через які відбувається люмінесцентне випромінювання. Крім того, при високих дозах опромінення ( $2500, 5060\text{ Гр}$ ) генерується значна концентрація  $\gamma$ -індукованих дефектів, які впливають на інтенсивність люмінесценції.

На відміну від дослідженого в цій статті монокристалу, в сульфідних склоподібних сплавах [5, 6] спостерігається велика кількість смуг випромінювання, але з меншою інтенсивністю. Це пов'язано з тим, що іони Ербію в стеклах можуть займати декілька позицій і з кожної можемо фіксувати ФЛ випромінювання. Також в стеклах під впливом  $\gamma$ -опромінення [23] змінюється механізм люмінесцентного випромінювання. В монокристалі  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  значних змін у спектрах люмінесценції під впливом  $\gamma$ -опромінення не зафіксовано, що визначає його перевагу в радіаційній стійкості для можливого застосування в оптоелектронній техніці.

### Висновки

Досліджено спектри оптичного поглинання монокристалу  $\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  і визначено ширину забороненої зони, яка становить  $2,35\text{ еВ}$ . Зафіксовану ФЛ в інтервалі  $1,48 - 1,61$  і  $0,75 - 0,86\text{ еВ}$  пов'язуємо з внутрішніми переходами в іонах Ербію. Після опромінення зразків розташування та форма максимумів ФЛ не змінилась, що свідчить про радіаційну стійкість монокристалу  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$ . Вважаємо, що збільшення інтенсивності ФЛ при великих дозах опромінення пов'язано із виникненням значної кількості  $\gamma$ -індукованих дефектів.

### Інформаційні джерела

1. Band structure, electronic and optical features of  $\text{Tl}_4\text{SnX}_3$  ( $X = \text{S}, \text{Te}$ ) ternary compounds for optoelectronic applications / M. Piasecki, M.G. Brik, I.E. Barchiy, K. Ozga, I.V. Kityk, A.M. El-Naggar, A.A. Albassam, T.A. Malakhovskaya, G. Lakshminarayana. // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Vol. 710. – P. 600–607.
2. Concentration dependence of the optical properties of glassy alloys in the  $\text{HgS}-\text{Ga}_2\text{S}_3-\text{GeS}_2$  system / A.H. Kevshyn, V.V. Halyan, H.Ye. Davydyuk, O.V. Parasyuk, I.I. Mazurets // Glass Physics and Chemistry. – 2010. – Vol. 36. – P. 27–32.
3. Huge operation by energy gap of novel narrow band gap  $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{B}_x\text{Se}_2$  ( $B = \text{Si}, \text{Ge}$ ): DFT, x-ray emission and photoconductivity studies / M. Piasecki, G.L. Myronchuk, O.V. Zamurueva, O.Y. Khyzhun, O.V. Parasyuk, A.O. Fedorchuk, A. Albassam, A.M. El-Naggar, I.V. Kityk // Materials Research Express. – 2016. – Vol. 3. – P. 025902.

4. Phase equilibria in the quasi-ternary system  $\text{Ag}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{In}_2\text{Se}_3$  and physical properties of  $(\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4})_2\text{Se}_3$ ,  $(\text{Ga}_{0.594}\text{In}_{0.396}\text{Er}_{0.01})_2\text{Se}_3$  single crystals / I.A. Ivashchenko, I.V. Danyliuk, I.D. Olekseyuk, V.V. Halyan // *Journal of Solid State Chemistry*. – 2014. – Vol. 210. – P. 102–110.
5. Role of structural ordering on optical properties of the glasses  $\text{Ag}_{0.05}\text{Ga}_{0.05}\text{Ge}_{0.95}\text{S}_2-\text{Er}_2\text{S}_3$  / V.V. Halyan, V.V. Strelchuk, V.O. Yuhymchuk, A.H. Kevshyn, G.Ye. Davydyuk, M.V. Shevchuk, S.V. Voronyu // *Physica B*. — 2013. – Vol. 411. – P. 35–39.
6. Effect of temperature on the structure and luminescence properties of  $\text{Ag}_{0.05}\text{Ga}_{0.05}\text{Ge}_{0.95}\text{S}_2-\text{Er}_2\text{S}_3$  glasses / V.V. Halyan, I.V. Kityk, A.H. Kevshyn, I.A. Ivashchenko, G. Lakshminarayana, M.V. Shevchuk, A. Fedorchuk, M. Piasecki // *Journal of Luminescence*. – 2017. – 181. – P. 315–320.
7. Raman and photoluminescence characterization of diamond films for radiation detectors / Iu. Nasieka, V. Strelchuk, M. Boyko, V. Voevodin, A. Vierovkin, A. Rybka, V. Kutniy, S. Dudnik, V. Gritsina, O. Opalev, V. Strel'nitskij // *Sensors and Actuators, A: Physical*. – 2015. – Vol. 223. – P. 18–23.
8. Influence of electron beam irradiation on nonlinear optical properties of Al doped ZnO thin films for optoelectronic device applications in the cw laser regime / Albin Antony, S. Pramodini, P. Poornesh, I.V. Kityk, A.O. Fedorchuk, Ganesh Sanjeev // *Optical Materials*. – 2016. – Vol. 62. – P. 64–71.
9. P.A. Rodnyi. Progress in fast scintillators // *Radiation Measurements*. – 2001. – Vol. 33, No 5. – P. 605–614.
10. Study of VUV emission and  $\gamma$ -ray responses of Nd:BaF<sub>2</sub> scintillator / Takayuki Yanagida, Noriaki Kawaguchi, Yuui Yokota, Sumito Ishidu, Kei Kamada. // *Radiation Measurements*. – 2010. – Vol. 45, No 3–6. – P. 422–425.
11. Takayuki Yanagida. Ionizing radiation induced emission: Scintillation and storage-type luminescence // *Journal of Luminescence*. – 2016. – Vol. 169, Part B. – P. 544–548.
12. Gamma radiation induced loss in erbium doped optical fibers / B. Tortech, M. Van Uffelen, A. Gusarov, Y. Ouerdane, A. Boukenter, J.-P. Meunier, F. Berghmans, H. Thienpont // *J. Non-Cryst. Solids*. – 2007. – Vol. 353, No 5–7. – P. 477–480.
13. Enhanced radiation resistance of near-infrared photoluminescence emission induced by Er/Si nanoclustering / C. Wang, D. Barba, S. Slim, Y.Q. Wang, F. Rosei // *Materials & Design*. – 2017. – Vol. 126. – P. 57–63.
14. Scintillation properties of Er-doped  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  single crystals / Akihiro Yamaji, Hiraku Ogino, Yutaka Fujimoto, Akira Suzuki, Akira Yoshikawa // *Radiation Measurements*. – 2013. – Vol. 56. – P. 116–119.
15. Crystal growth and scintillation properties of Er-doped  $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  single crystals / Makoto Sugiyama, Yutaka Fujimoto, Takayuki Yanagida, Daisuke Totsuka, Shunsuke Kurosawa, Yoshisuke Futami, Yuui Yokota, Valery Chani, Akira Yoshikawa // *Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2012. – Vol. 664. – P. 127–131.
16. Phase equilibria in the quasiternary system  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{In}_2\text{Se}_3$  and optical properties of  $(\text{Ga}_{55}\text{In}_{45})_2\text{S}_{300}$ ,  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  single crystals / I.A. Ivashchenko, I.V. Danyliuk, I.D. Olekseyuk, V.Z. Pankevych, V.V. Halyan // *Journal of Solid State Chemistry*. – 2015. – Vol. 227. – P. 255–264.
17. Electronic structure of  $(\text{Ga}_{55}\text{In}_{45})_2\text{S}_{300}$  and  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  single crystals / O.Y. Khyzhun, V.V. Halyan, I.V. Danyliuk, I.A. Ivashchenko // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. – 2016. – Vol. 27. – P. 3258–3264.
18. Laser stimulated piezo-optics of  $\gamma$ -irradiated  $(\text{Ga}_{55}\text{In}_{45})_2\text{S}_{300}$  and  $(\text{Ga}_{54.59}\text{In}_{44.66}\text{Er}_{0.75})_2\text{S}_{300}$  single crystals / I.V. Kityk, V.O. Yuhymchuk, A. Fedorchuk, V.V. Halyan, I.A. Ivashchenko, I.D. Oleksieyuk, M.A. Skoryk, G. Lakshminarayana, A.M. El-Naggar, A.A. Albassam, O.O. Lebed, M. Piasecki // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2017. – Vol. 722. – P. 265–271.
19. Ж. Панков. Оптические процессы в полупроводниках. – Москва: Мир, 1973. – 456 с.
20. Выращивание монокристаллов, структура и фотоэлектрические свойства новых полиморфных модификаций  $\text{GaInS}_3$  / И.Р. Амирасланов, Т.Х. Азизов, Г.Г. Гусейнов, А.С. Кулиев, Г.М. Нифтиев // *Неорг. Матер.* – 1988. – Vol. 24, №5. – 723–726.

21. Optical and photoelectric properties of gamma-irradiated GaS:Er<sup>3+</sup> layered crystals / A. R. S. Madatov, T. B. Tagiev, S.A. Abushev, Sh.P. Shekili, A.R. Mobili // *Inorganic Materials*. – 2008. – Vol. 44, No 4. – 333–336.
22. Er<sup>3+</sup> to glass matrix energy transfer in Ga–Ge–S:Er<sup>3+</sup> system / T.Yu. Ivanova, A.A. Man'shina, A.V. Kurochkin, Yu.S. Tver'yanovich, V.B. Smirnov // *J. Non-Cryst. Solids*. – 2002. – Vol. 298. – P. 7-14.
23. EPR of  $\gamma$ -induced defects and their effects on the photoluminescence in the glasses of the Ag<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.05</sub>Ge<sub>0.95</sub>S<sub>2</sub>–Er<sub>2</sub>S<sub>3</sub> system / V.V. Halyan, A.A. Konchits, B.D. Shanina, S.V. Krasnovyd, O.O. Lebed, A.H. Kevshyn, M.V. Shevchuk, A.V. Bodnaruk, V.O. Yukhymchuk // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2015. – Vol. 115. – P. 189–195.

**Галян В.В., Иващенко И.А., Олексеюк И.Д., Федосов С.А., Третьак А.П., Данилюк І.В., Лебедь О.О., Кевшин А.Г., Тищенко П.В.**

Восточноевропейский национальный университет имени Леси Украинки, Луцк  
Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно

### МЕХАНИЗМ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МОНОКРИСТАЛЛА

**(Ga<sub>54.59</sub>In<sub>44.66</sub>Er<sub>0.75</sub>)<sub>2</sub>S<sub>300</sub>**

Монокристалл (Ga<sub>54.59</sub>In<sub>44.66</sub>Er<sub>0.75</sub>)<sub>2</sub>S<sub>300</sub> выращенный методом раствора-расплава и облученный  $\gamma$ -лучами дозой 420, 1260, 2520, 5040 Гр с помощью источника <sup>60</sup>Со. Зафиксировано интенсивное люминесцентное излучение в интервалах 1,48 – 1,61 и 0,75 – 0,86 эВ при возбуждении лазером с длиной волны 532 нм. Построена диаграмма энергетических уровней для ионов эрбия и установлен механизм излучения, в котором важную роль играет процесс кроссрелаксации. При высоких дозах облучения (2520, 5040 Гр) происходит увеличение интенсивности люминесцентного излучения, которое связывается с ростом концентрации  $\gamma$ -индуцированных дефектов кристалла.

**Ключевые слова:** фотолюминесценция, кроссрелаксация, спектр поглощения.

**Halyan V.V., Ivashchenko I.A., Olekseuk I.D., Fedosov S.A., Tretyak A.P., Danyliuk I.V., Lebed O.O., Kevshyn A.H., Tishchenko P.V.**

Lesya Ukrainka Eastern European National University, Lutsk  
National University for Water Economy and Nature Management, Rivne

### MECHANISM OF PHOTOLUMINESCENCE

**IN (Ga<sub>54.59</sub>In<sub>44.66</sub>Er<sub>0.75</sub>)<sub>2</sub>S<sub>300</sub> SINGLE CRYSTAL**

Using solution-melt method (Ga<sub>54.59</sub>In<sub>44.66</sub>Er<sub>0.75</sub>)<sub>2</sub>S<sub>300</sub> single crystal was grown. The single crystal specimens were irradiated of the  $\gamma$ -radiation with the doses of 420, 1260, 2520, 5040 Gr with the help of a <sup>60</sup>Co source. An intense luminescent radiation was recorded in the range of 1.48 - 1.61 and 0.75 - 0.86 eV under laser excitation with 532 nm wavelength. A diagram of energy levels for erbium ion was constructed and the mechanism of radiation was established, in which the cross-relaxation process plays an important role. At high doses of irradiation (2520, 5040 Gr) the intensity of the luminescent radiation increases, that we associate with increase in the concentration of  $\gamma$ -induced defects in the crystal.

**Keywords:** photoluminescence, cross-relaxation, absorption spectrum.