

11-30-2020

## INFLUENCE OF STRUCTURAL DEFECTS ON THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF Er<sup>3+</sup> IMPURITIES IN Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> CRYSTALS

I Nuritdinov

*Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100214, izzatilloh@yahoo.com*

Z U. Esanov

*Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100214*

E T. Rakhimov

*Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan, Fergana, 150107*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

---

### Recommended Citation

Nuritdinov, I; Esanov, Z U.; and Rakhimov, E T. (2020) "INFLUENCE OF STRUCTURAL DEFECTS ON THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF Er<sup>3+</sup> IMPURITIES IN Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> CRYSTALS," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 5 , Article 15.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss5/15>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

**INFLUENCE OF STRUCTURAL DEFECTS ON THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF Er<sup>3+</sup> IMPURITIES IN Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> CRYSTALS****<sup>1</sup>Nuritdinov I., <sup>1</sup>Esanov Z.U., <sup>2</sup>Rakhimov E.T.**<sup>1</sup>Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 100214,<sup>2</sup>Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan, Fergana, 150107[izzatilloh@yahoo.com](mailto:izzatilloh@yahoo.com)**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИМЕСЕЙ Er<sup>3+</sup> В КРИСТАЛЛАХ Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>****<sup>1</sup>Нуритдинов И., <sup>1</sup>Эсанов З.У., <sup>2</sup>Рахимов Э.Т.**<sup>1</sup>Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан, г.Ташкент, 100214,<sup>2</sup>Ферганский политехнический институт, Узбекистан, г.Фергана, 150107[izzatilloh@yahoo.com](mailto:izzatilloh@yahoo.com)**Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> КРИСТАЛЛАРИДАГИ Er<sup>3+</sup> КИРИШМАСИСНИНГ СПЭСТРАЛ ХУСУСИЯТЛАРИГА СТРУКТУРАВИЙ НУЦҚОНЛАРИНИНГ ТАЪСИРИ****<sup>1</sup>Нуритдинов И., <sup>1</sup>Эсанов З.У., <sup>2</sup>Рахимов Э.Т.**<sup>1</sup>Ядро физикаси институти, Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси, Тошкент, 100214,<sup>2</sup>Фарғона политехника институти, Ўзбекистон, Фарғона, 150107[izzatilloh@yahoo.com](mailto:izzatilloh@yahoo.com)

**Abstract.** *The absorption spectra of Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>: Er<sup>3+</sup> crystals irradiated with gamma rays and heat-treated under reducing conditions have been investigated. It is shown that, upon irradiation and heat treatment of crystals, oxygen is removed from the oxygen seven-vertex surrounding the cerium ions, which leads to the transformation of Er1 centers into Er2. The electronic transitions of erbium ions in Er1 and Er2 positions have been solved.*

**Key words:** irradiation, gamma rays, heat treatment under reducing conditions, absorption, oxygen vacancy.

**Аннотация.** *Исследованы спектры поглощения, облученных гамма-лучами и термообработанных в восстановительных условиях кристаллов Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Er<sup>3+</sup>. Показано, что при облучении и термической обработке кристаллов происходит удаление кислорода из кислородных семивершинников, окружающих ионы церия, которое приводит к преобразованию Er1 центров в Er2. Расшифрованы электронные переходы ионов эрбия в Er1 и Er2 позициях.*

**Ключевые слова:** облучение, гамма-лучи, термообработка в восстановительных условиях, поглощение, вакансия кислорода.

**Введение.** Кристаллы Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Er (YSO:Er) являются одними из лучших кандидатов для твердотельных лазеров, материал для пространственно-спектральной голографии и квантовой памяти [1-3]. Однако микроструктура эрбиевых центров, а также радиационные характеристики этого материала исследованы недостаточно полно.

Кристаллы YSO имеют моноклинную структуру с пространственной группой C<sub>2/c</sub>. Ионы Y занимают два кристаллографически независимых состояния с координационными числами по кислороду 6 и 7 соответственно [4, 5]. Ионы Er<sup>3+</sup> могут заменить ионы Y<sup>3+</sup> в этих кристаллографических положениях, занимая этих двухкристаллографически независимых состояний [6]. Спектральные характеристики активаторов эрбия обуславливаются этими двумя типами центров, однако, характеристики этих центров для ионов Er<sup>3+</sup> в кристаллах

$Y_2SiO_5:Er$  исследованы крайне недостаточно. В связи с этим в данной работе нами предпринята попытка разделить спектры поглощения этих двух центров в кристаллах  $Y_2SiO_5$  и идентифицировать электронные переходы, обуславливающих спектров данных центров.

**Методика экспериментов.** Кристаллы отжигались в восстановительной атмосфере, с использованием порошкообразного графита, при температуре 700 и 800°C в течение 1–10 часов. Образцы также облучались гамма-лучами до дозы  $10^8$  Рад. Изучались спектроскопические характеристики образцов абсорбционным методом. Спектры оптического поглощения (ОП) измеряли на спектрофотометре «Лямбда 35» фирмы ПеркинЭлмер.

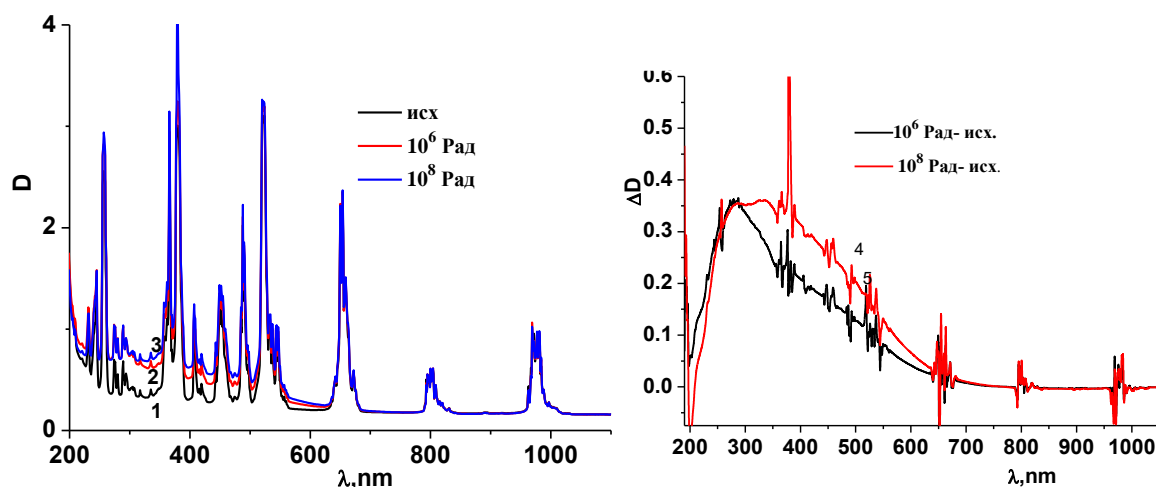


Рис.1. Спектры поглощения кристаллов  $Y_2SiO_5:Nd$  (a) исходного (1) и гамма облученного дозой  $10^6$  Рад (2),  $10^8$  Рад (3);, (b) разности спектров поглощения гамма облученного доза  $10^6$  Рад и исходного необлученного (4); гамма облученного доза  $10^8$  Рад и исходного необлученного (5).

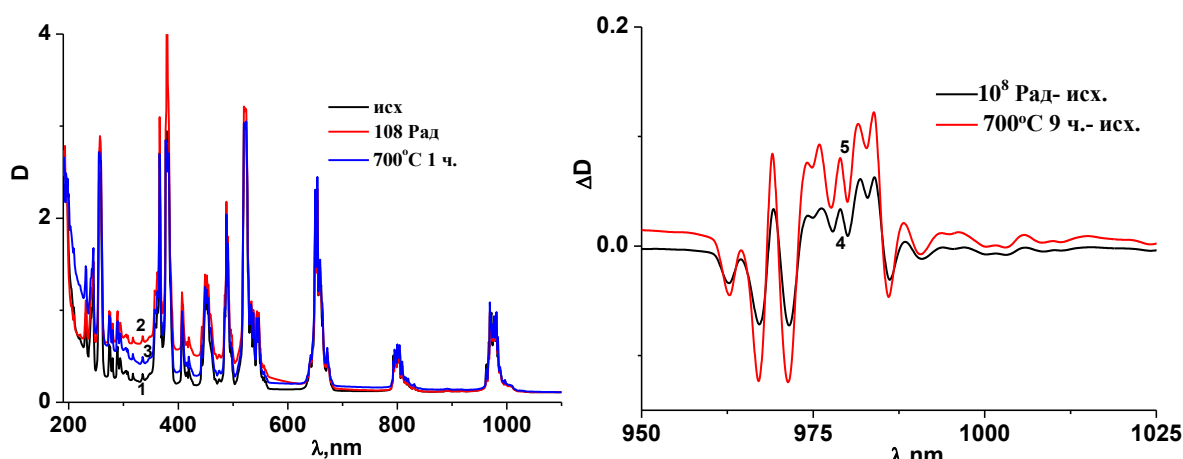


Рис.2. Спектры поглощения кристаллов  $Y_2SiO_5:Nd$ : (a) исходного (1), гамма облученного дозой  $10^8$  Рад (2), термообработанного 9 ч. при температуре 700°C (3); (b) разности спектров термообработанного 9 ч. при температуре 700°C и исходного (4) и гамма облученного дозой  $10^8$  Рад и исходного необлученного (5).

**Результаты исследования и их обсуждение.** На рис.1а приведены спектры поглощения исходного и  $\gamma$ - облученного дозой  $10^6$  и  $10^8$  Рад исследованных нами кристаллов  $Y_2SiO_5$ . После облучения в спектрах ОП происходят некоторые изменения: наблюдается перераспределение интенсивности отдельных линий поглощения ионов  $Er^{3+}$  (рис. 1 а), в разностных спектрах поглощения, облученных и исходных образцов явно видно увеличение

*Materials of the V International Conference "Optical and photoelectrical phenomena in semiconductive micro- and nanostructures". Ferghana, November 13-14, 2020.*

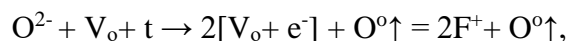
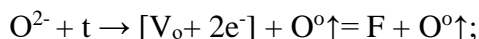
интенсивности одних линий поглощения ионов  $\text{Er}^{3+}$  и уменьшение других, а также создаются полосы дополнительного поглощения с максимумами в областях 240, 270, 360, 400, 450, 550 и 750 нм (см. рис. 1 б). Интенсивности этих полос увеличиваются с увеличением дозы облучения не наблюдается их насыщение, что свидетельствует о создании структурных дефектов в кристаллах  $\text{Y}_2\text{SiO}_5$  под действием  $\gamma$ -лучей. Это явление показывает, что в кристаллах  $\text{Y}_2\text{SiO}_5$  под действием гамма лучей происходит радиационное дефектообразование. С учетом того, что под действием ионизирующих излучений в кристаллах  $\text{Y}_2\text{SiO}_5$  возбуждаются люминесценция автолокализованных экситонов (АЛЭ), считаем, что радиационные дефекты при облучении  $\gamma$ -лучами создаются при безызлучательном распаде АЛЭ [7].

Ранее нами было показано [7,8], что полосы поглощения с максимумами 240, 270 и 295 нм связаны с электронными центрами окрасок, а полосы 460, 525, 575, 650 и 775 нм – с дырочными. Так же установлено, что полоса с максимумом 650 нм обуславливается немостиковыми атомами кислорода, а полосы 460, 525, 575 и 775 нм – с различными модификациями V-центров.

Аналогичное явление наблюдается и в спектрах термообработанных в восстановительных условиях образцов (рис 2).

Известно, что при высокотемпературном отжиге оксидных кристаллов в восстановительных условиях ионы кислорода будут диффундировать из кристалла на его поверхность, образуя в объеме кристалла анионные вакансии [7,8].

Для кислорода выгодно оставлять свои электроны в этих вакансиях, при этом образуются F- или  $\text{F}^+$ - центры:



что приводит появлению в спектрах поглощения термообработанных образцов полос поглощений с максимумами в областях 240, 270 нм, соответствующие F- или  $\text{F}^+$ - центрам. В облученных образцах при этом образуются различные дырочные центры, поглощающих свет в области 360, 400, 450, 550 и 750 нм (см. рис. 1, б).

Ранее нами было показано [9,10], что при облучении ионизирующими излучениями или восстановительной термообработке при температурах больше  $600^\circ\text{C}$  кислород в структуре кристаллов YSO уходит из окружения семикоординированного по кислороду состояния ионов  $\text{Y}^{3+}$ , что приводит к переходу часть ионов  $\text{Y}^{3+}$  из 7 координированного состояния в 6 координированный. В результате этого увеличиваются шестикоординированные ионы  $\text{Y}^{3+}$  и уменьшаются их семикоординированные состояния. Так как активаторные ионы  $\text{Er}^{3+}$  замещают в кристалле YSO ионов  $\text{Y}^{3+}$  в соответствующих кристаллографических положениях [6], изменение спектральных характеристик активаторов эрбия обуславливаются изменениями количества этих двух типов центров  $\text{Er}^{3+}$  в процессе облучения или восстановительной термообработке.

Поэтому считаем, что те линии перехода ионов эрбия, которые уменьшаются по интенсивности, относятся семикоординированным состояниям примеси, а те переходы, интенсивности которых увеличиваются, относятся к шестикоординированным состояниям. По этому принципу были разделены спектры трехвалентных ионов эрбия в  $\text{Er}1$  и  $\text{Er}2$  позициях идентифицированы их электронные переходы. Результаты приведены в таблице.

Таблица

**Штарковское расщепление термов Er<sup>3+</sup> в кристаллах Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>**

Transition	Type 1 (nm)	Type 2 (nm)	Transition	Type 1 (nm)	Type 2 (nm)
<sup>4</sup> I <sub>11/2</sub>	988.08	986.07	<sup>4</sup> F <sub>9/2</sub>	671.11	-
	984.05	982.92		-	664.94
	982.03	-		663.04	661.02
	981.02	980.02		660.02	656.1
	979	977.98		653.96	651.06
	975.97	975.09		650.18	649.03
	973.96	972.2		647.02	644.88
	969.04	967.02		<sup>4</sup> S <sub>3/2</sub> + <sup>2</sup> H <sub>11/2</sub>	-
	-	962.98	547.9		544.3
<sup>4</sup> I <sub>9/2</sub>	-	812.05	542	-	
	808.1	805.07	536.89	534.08	
	803.94	801.84	533.02	528.96	
	799.96	799.02	525.95	524.01	
	795.05	792.97	522.95	522.07	
	-	791.07	518.89		

**Заключение.**

1. Показано, что в кристаллах Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Er<sup>3+</sup> при облучении гамма лучами или при высокотемпературной термической обработке в восстановительных условиях происходит образование структурных дефектов типа кислородные вакансии.

2. Установлено, что в кристаллах Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Er<sup>3+</sup> при высокодозовом облучении гамма-лучами, а также при высокотемпературной обработке восстановительной обработке происходит координационные Er1 → Er2 превращения.

3. Идентифицированы линии поглощения, относящиеся к Er1- и Er2- центрам в кристаллах Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Er<sup>3+</sup>.

**References:**

- [1] Harris T.L., Sun Y., Cone R.L., Macfarlane R.M., and Equall R.W.1998. Demonstration of real-time address header decoding for optical data routing at 1536 nm . Opt. Lett. 23. 636
- [2] Staudt M.U., Hastings-Simon S.R., Afzelius M., Jaccard D., Tittel W., and Gisin N.2006. Investigations of Optical Coherence Properties in an Erbium-doped Silicate Fiber for Quantum State Storage. Opt. Commun. 266.720.
- [3] Macfarlane R.M., Harris T.L, Sun Y., Cone R.L., and Equall R.W.1997.Measurement of photon echoes in Er:Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> at 1.5 μm with a diode laser and an amplifier.Opt. Lett. 22. 871.
- [4] Pang H., Zhao G., Su L., Jie M., X. He and Xu J.2006. Effect of γ-irradiation on spectral properties of undoped Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> crystals.Cryst. Res. Technol. 41.255–258.
- [5] Felsche J. 1973. The crystal chemistry of the rare-earth silicates. Structure and Bonding, Springer-Verlag. 13.1399-197.
- [6] Brandle C.D., Valentino A.J., Berkstresser G.W. 1986. Czochralski growth of rare-earth orthosilicates (Ln<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>). J. of Crystal Growth. 79. 308-315.
- [7] VaxidovSH.A., NuritdinovI., IkramovG.I. 1988. Kataliticheskaya rol poverxnosti pri vzaimodeystvii obemnix tochechnix defektov okisnix kristallov s kislorodom iz gazovoy fazi pri visokix temperaturax. V kn.: «Radiatsionnie effekti v mnogofaznix geterogennix dielektrikax»Tashkent. «Fan». 186-194.
- [8] Nuritdinov I., Esanov Z.U., Islamov A.X. 2016.Strukturnie defekti kristallov Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, navedennie neytronm oblucheniem.Uzbekskiy fizicheskij jurnal. 4.264–268.

***Materials of the V International Conference "Optical and photoelectrical phenomenas in semiconductive micro- and nanostructures". Ferghana, November 13-14, 2020.***

---

- [9] Ashurov M.Kh., Nuritdinov I., Esanov Z.U., Saidakhmedov K.Kh., 2019. Effect of Heat Treatment in a Reducing Atmosphere on Absorption and Luminescence Spectra of  $Y_2SiO_5:Se$  Crystals. *Inorganic Materials*. 8, 55, 815–819.
- [10] Nuritdinov I., Esanov Z.U. 2020. Vzaimoprevращение  $Nd^{3+}$  tsentrovv kristallax  $Y_2SiO_5$  pri obluchenii i vosstanovitelnoy termoobrabotke. V trudax Mejdunarodnoy konferentsii «Fundamentalnye i prikladnye voprosi fiziki», 22-23 sentyabrya 2020g. s.73-76.