

2. Королева Т. С., Сатыбалдиева М. К., Жамангулов А. А., Райков Д. В., Шульгин Б. В. О переносе энергии в кристаллах (Li,Na)F:U,ME при внутрицентровом возбуждении // Радиационно–оптические эффекты в кристаллах фторида лития и натрия. Сборник статей. Бишкек–Екатеринбург: НАН КР – УрФУ. – 2012. – С. 249.
3. Райков Д. В., Иванов В. Ю., Шульгин Б. В., Михайлов С. Г., Соломонов В. И., Кидибаев М. М., Жамангулов А. А., Королева Т. С. Сцинтилляторы на основе кристаллов LiF и NaF с центрами окраски // Радиационно–оптические эффекты в кристаллах фторида лития и натрия. Сборник статей. Бишкек–Екатеринбург: НАН КР. – УрФУ. – 2012. – С. 259.
4. Кидибаев М. М., Денисов Г. С., Кабыл уулу Адыл, Лозовских А. А. Центры поглощения в кристалле LiF:U,OH // Радиационно–оптические эффекты в кристаллах фторида лития и натрия. Сборник статей. Бишкек–Екатеринбург: НАН КР – УрФУ. – 2012. – С. 266.
5. Королева Т. С., Черепанов А. Н., Шульгин Б. В., Pedrini Ch. Оптические свойства кристаллов LiF:U при низких температурах // Радиационно–оптические эффекты в кристаллах фторида лития и натрия. Сборник статей. Бишкек–Екатеринбург: НАН КР – УрФУ. – 2012. – С. 274.
6. Лобанов Б.Д., Максимова Н.Т., Цирульник П.А., Щепина Л.И., Волкова Н.В. Кислородные центры в LiF и NaF // Опт. и спектр. – 1984. – Т. 56, В. 1. – С. 172-174.

УДК 539.12.043

РАДИАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ В КРИСТАЛЛАХ BaFBr ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ КРИПТОНА

Кенбаев Д.Х.¹, Карипбаев Ж.Т.²

edu.kdx@yandex.kz

¹Докторант ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

²Доцент ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Даулетбекова А.К.

Введение

На текущий момент в современном мире исследование фундаментальных основ изготовления разного рода детекторов для регистрации и измерения ионизирующих, а также ядерных излучений является одной из значительных проблем, решению которой уделяется особое внимание. С развитием методов детектирования ионизирующего излучения связаны различные области науки и техники такие как - ядерная медицина и компьютерная томография, а также научно-технические проблемы радиационного контроля ядерных установок, проблемы ядерной астрофизики, космической физики и физики высоких энергий.

Среди множества материалов используемых в качестве детекторов, можно выделить кристаллы класса MeFX (Me- Sr, Ba, X-Cl, Br, I). В кристалле BaFBr изображение, созданное ионизирующим, а также ядерным излучением, остается стабильным в темноте длительного время при комнатной температуре, что успешно используется для создания запоминающих экранов (imaging plate - IP). Запоминающие экраны первоначально разрабатывались для рентгеновских излучений, но в настоящее время их применение распространяется и на другие виды ионизирующего излучения, такие как нейтроны, электроны, гамма-лучи или ионные пучки [1]. Кристаллы BaFBr обладает рядом преимуществ перед обычными рентгеновскими пленками, такие как высокая чувствительность, широкий динамический диапазон и высокое пространственное разрешение [2].

В нашей работе рассматриваются дефекты в кристалле BaFBr созданные под воздействием ионов 147 МэВ криптона.

Экспериментальная часть. Результаты и обсуждение.

Исследуемый кристалл BaFBr является смешанным монокристаллом щелочноземельных галогенов слоистого типа. Фторгалоид щелочноземельных металлов

BaFBr имеет тетрагональный тип структуры, типа PbFCI с пространственной группой симметрии P4/nmm, имеющий плотность $\rho=4,9 \text{ г/см}^3$ [3]. В таблице 1 приведены структурные параметры для образцов BaFBr исследованных в работе Бека Х.П. [4].

Таблица 1

Структурные параметры кристалла BaFBr.

BaFBr	a, Å	c, Å	Z	U Å	F(000)	$\mu, \text{см}^{-1}$
	4,508 (4)	7,441 (15)	2	151,22	200	272,6

Подготовленные для облучения образцы в форме пластинок имели толщину приблизительно 1 мм. Облучение проводилось на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 (Нур-Султан, Казахстан) высокоэнергетическими ионами криптона с энергией 147 МэВ до флюенсов: 10^{10} ион/см², 10^{11} ион/см², 10^{12} ион/см², и 10^{13} ион/см² (Рисунок 1).

С помощью кода SRIM-2013 [5] были рассчитаны длина пробега, а также электронные и ядерные потери энергии для иона криптона в кристалле BaFBr, которое показало, что толщина образцов взятых для облучения во много раз превышает пробег ионов в данном веществе. Длина пробега иона криптона в кристалле составила $R = 17,87 \text{ мкм}$.

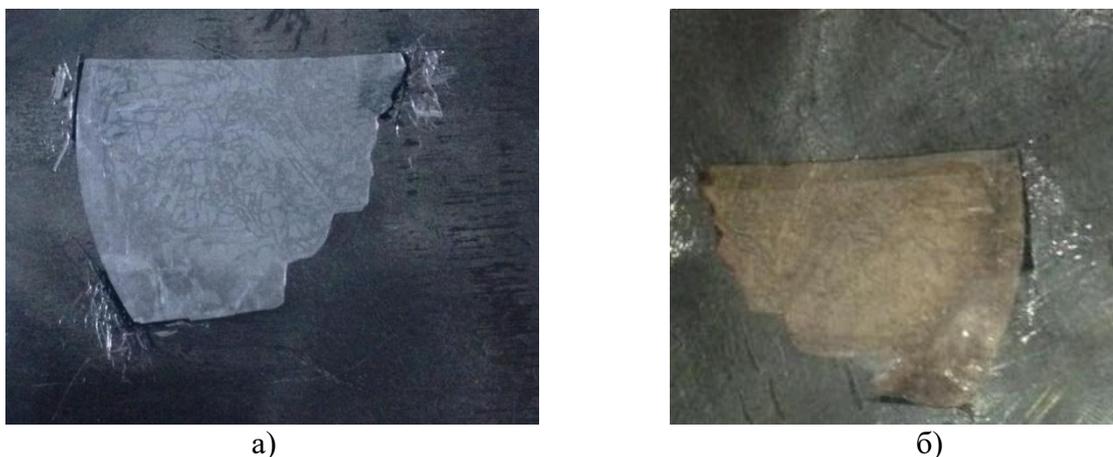


Рисунок 1 – Необлученный кристалл BaFBr (а), облученный ионами ⁸⁴Kr с энергией 147 МэВ и флюенсе 10^{12} ион/см² (б).

Для предотвращения воздействия дневного света на образцы, их помещали в чашки Петри завернутые в непрозрачный материал черного цвета.

В данной работе мы рассматриваем ионы с удельной энергией 1,75 МэВ/нуклон. Применение таких нерелятивистских ионов необходимо для модификации рассматриваемых материалов. Энергетические потери (dE/dx) или S_n в общем случае делятся на два типа: электронную (dE/dx)_e или S_e и ядерную (dE/dx)_n, зависимость удельных ионизационных потерь, энергии от пробега приведена на рисунке 2.

Если рассматривать по значениям электронных и ядерных потерь энергий, то они составили $S_e=12,04 \text{ кэВ/нм}$ и $S_n=1,363 \text{ кэВ/нм}$ соответственно, причем электронные потери энергии доминируют над ядерными приблизительно в 9 раз. Это объясняется тем, что при энергиях выше 0,1 МэВ/нуклон электронные потери становятся доминирующими.

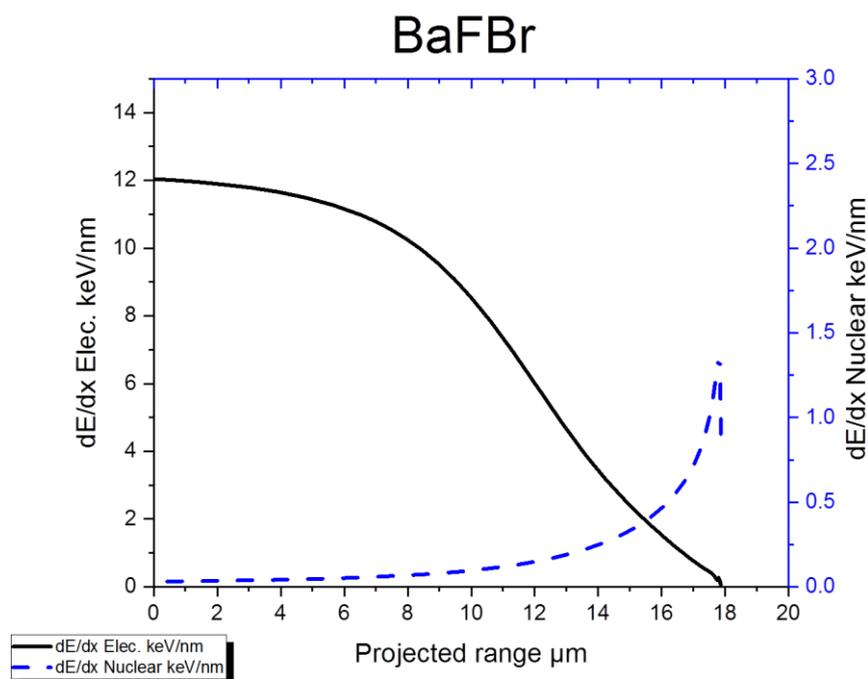


Рисунок 2 - График зависимости электронных и ядерных потерь энергии для кристалла BaFBr облученного ионами 147МэВ Kr, рассчитанные с помощью SRIM-2013 [5].

Ниже приведена таблица параметров облучения ионов ^{84}Kr в трехкомпонентном монокристалле BaFBr.

Таблица 2

Параметры облучения

Ион	Энергия, МэВ	Флюенс, ион/см ²	S_e кэВ/нм	S_n кэВ/нм	R, мкм
$^{84}\text{Kr}^{14+}$	147	$10^{10}-10^{13}$	12,04	1,363	17,87

Спектры оптического поглощения измерялись при комнатной температуре, на спектрофотометре предназначенным для измерения поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра в диапазоне 200–1000 нм. В видимой области спектры оптической плотности кристаллов BaFBr характеризуются серией слабо разрешенных линий (рисунок 3).

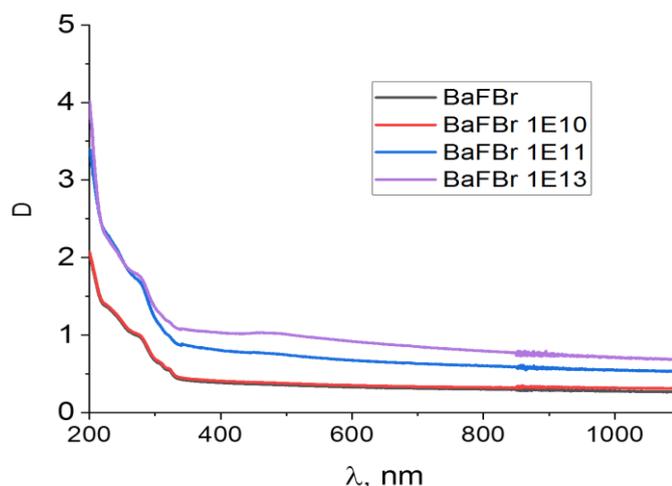


Рисунок 3 - Спектры оптического поглощения кристаллов BaFBr, не облученного и облученного ионами 147 МэВ Kr, в зависимости от флюенса.

В спектре оптического поглощения необлучённого кристалла ВаFBr ультрафиолетовой области имеется полоса поглощения с максимумом предположительно 160 нм [6]. При облучении ионами криптона до флюенсов 1×10^{10} ион/см², в спектре оптического поглощения почти никаких изменений не обнаружено, кроме увеличения оптической плотности кристалла. Начиная с флюенсов 1×10^{11} ион/см², в спектре появляются полосы дополнительного поглощения с максимумами при 240 и 485 нм (Рисунок 3, синяя кривая). Поломы поглощения кристаллов ВаFBr при 240 а также полоса при 485 нм в дальнейшем ведут себя одинаково при флюенсах 1×10^{10} - 1×10^{13} ион/см² иона ⁸⁴Kr (Рисунок 3, красная и фиолетовая кривые). Интенсивности этих полос растут до флюенсов 1×10^{13} ион/см² (Рисунок 3). Известно, что центры кислорода O⁻ дают несколько полос поглощения в ультрафиолетовом диапазоне вплоть до экситонного края [7,8]. Полоса поглощения 240 нм в кристаллах ВаFBr связана с O⁻ - вакантными дефектами [9]. Поэтому эти ультрафиолетовые полосы в кристаллах могут возникать из-за кислородных дефектов. Спектроскопические исследования Раджабова Е. и Отрошок В. показывают, что эти кислородные центры являются ионами кислорода, связанными с анионными вакансиями [10]. В работе Кошника Ф.К. (и других) полоса при 485 нм в спектре оптического поглощения соответствует F(F⁻) центру [11].

Список использованных источников

1. Kobayashi, H., Shibata, H., Eguchi, H., Satoh, M., Etoh, M., Takebe, M., Abe, K., Deterioration of photo-stimulated luminescence signals from materials by radiation. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 2000. В 164-165, 938.
2. Amemiya, Y., Miyahara, J. Imaging plate illuminates many fields. // Nature. Vol. 336. 1988. P. 89-90.
3. Horst A., Joachim D., Sigrid J.-B., Manfred S. Radiation Exposure and Image Quality in X-Ray Diagnostic Radiology // Phys. Princ. and Clinical App. Vol.2. 2012. P. 30.
4. Beck H.P. A study on mixed halide compounds MFX (M = Ca, Sr, Eu, Ba; X = Cl, Br, I) // J. Sol. St. Chem. – Elsevier, Vol. 17, N 3. 1976. P. 275–282
5. SRIM code 2013 based on Ziegler J.F., Biersak J.P., Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Solid. // New York: Pergamon Press, 1985.
6. Nicklaus E. Optical Properties of Some Alkaline Earth Halides // Phys. Status Solidi a. Vol. 53. 1979. P. 217.
7. Eachus R. S., McDugle W. G., Nuttall R. H. D., Olm M., Koschnick F., Hangleiter Th. and Spaeth J.-M., J. // Phys. Cond. Matter 3, 9327. 1991.
8. Hennl P. 1978 // Phys. Stat. Sol. (a) 46, 146.
9. Radzhabov E. and Figura P. Lattice Defects in Ionic Materials (Laldim-90) // Abstract 1990. Groningen. P. 185.
10. E. Radzhabov, V. Otroshok. Optical Spectra of Oxygen Defects in BaFcl and BaFbr Crystals // J. phys Chem. Solids Vol. 56. No. I. 1995. P. 1-7.
11. Koschnick F. K., Hangleiter Th., Spaeth J.-M. and Eachus R. S. J. Structure and optical properties of two types of F centre in BaFBr. // Phys. Cond. Matter 4. 1992. P. 3001-3013.