МРНТИ 29.19.24; 29.19.31; 29.19.09.

КИНЕТИКА КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОВ ФТОРИДА ЛИТИЯ, АКТИВИРОВАННЫХ УРАНОМ

Ж.Т. Карипбаев[1], Д.А. Мусаханов[2], Абуова Ф.У.[3]
[1] PhD , и.о.доцента, [2] аспирант 3-года обучения, [3] PhD, и.о.доцента
[1,2, 3] Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[1,2] Томский политехнический университет, Томск, Россия
email:Fatika_82@mail.ru

В статье исследуется кинетика катодолюминесценции кристаллов фторида лития, активированных ураном разной концентрации. Энергия импульсных электронов составляет 250 кэВ, длительностью в 10 нс. В чистых и содержащих OH кристаллах возбуждается полоса в области 425 нм. В кристаллах, содержащих U или соактиваторы U и OH, спектры люминесценции существенно отличаются по структуре и интенсивности. В спектрах кристаллов, содержащих соактиваторы U и OH, наблюдается полоса люминесценции в области 490 нм. Во всех кристаллах основной компонент затухания имеет величину в диапазоне 40–70 мкс. Поэтому сцинтиллятор на основе фторида лития может быть использован для регистрации потоков излучения малой интенсивности.

Ключевые слова: *кинетика люминесценции, время затухания, фторид лития, уран*

Введение

Кристаллы фторида лития, активированные ураном, являются перспективными, но плохо изученными сцинтилляционными материалами [1-4]. В кристаллах эффективно возбуждается люминесценция при воздействии потков жесткой радиации. Положение максимума люминесценции зависит от концентрации урана, наличия в качестве модификатора кислорода, гидроксила, условий выращивания. Одним из основных параметров сцинтилляционного материала является время затухания люминесценции, возбуждаемой высокоэнергетической радиацией. Временем затухания люминесценции определяются чувствительность и разрешение сцинтилляционной системы, работающей обычно в режиме счета фотонов. В настоящей работе приведены результаты исследования кинетических характеристик люминесценции кристаллов фторида лития, активированных ураном.

Методика исследований

Кинетические характеристики затухания люминесценции кристаллов измерялись при возбуждении импульсами потока электронов с энергией 250 кэВ, длительностью 10 нс. Регистрация люминесценции осуществлялась через монохроматор МДР-204 ФЭУ «Hamamatsu» R928, осциллографами GDS-2204 и LeCroy 6030A.

Регистрация интегральных спектров свечения осуществлялась оптоволоконным спектрометром AvaSpec-3648 в спектральном диапазоне 200 – 1100 нм. Время интегрирования составляло 100 мс

Образцы для исследований

Чистые и легированные кристаллы фтористого лития были выращены усовершенствованным методом Киропулоса в платиновой чашке на воздухе из реактива особой чистоты. Примеси вводили в шихту перед выращиванием кристалла в виде азотнокислого уранила и гидроксида лития. Количество введенной примеси U и OH в тексте приводится по концентрации $UO_2(NO_3)_2$ и LiOH в шихте.

Для исследований были приготовлены кристаллы:
LiF чистый, выращенный во ВНИТИОМ ГОИ, LiF+2,0 мол%OH, LiF+0,005 % U, LiF + 0,05 % U, LiF+0,05%U+0,5мол%OH, LiF+0,05%U+2,0мол%OH.

Введение примеси урана приводит к появлению поглощения в области спектра с λ<400 нм, которое нарастает к 200 нм. При концентрации урана в кристалле более 0,005 % в спектре появляются выраженные полосы на 260 и 320 нм. Введение ОН в кристалл также приводит к появлению поглощения в УФ области спектра. Совместное введение в кристалл примесей урана и ОН приводит к тому, что кристаллы становятся непрозрачными в области ниже 280 нм. Очевидно, введению урана при синтезе способствует наличие ионов ОН, которые входят в формирующийся кристалл входят для компенсации локальных упругих напряжений. Подобные закономерности изменения спектров поглощения в коротковолновой области при введении поливалентных примесей в кристаллах фторидов лития были описаны в [5-8].

Результаты экспериментов

Возбуждение кристаллов импульсом потока высокоэнергетических электронов (250 кэВ) приводит к возбуждению люминесценции кристаллов с интегральными спектрами, приведенными на рис 1. Положение полос в области 450-600 нм соотвествует описанным в [9]. В чистых и содержащих ОН кристаллах возбуждается полоса в области 425 нм. В кристаллах, содержащих U или соактиваторы U и ОН, спектры люминесценции существенно отличаются по структуре и интенсивности. В спектрах кристаллов, содержащих соактиваторы U и ОН, наблюдается полоса люминесценции в области 490 нм. Ее интенсивность тем выше, чем выше концентрация введенного ОН при равной концентрации введенного урана. Отметим, что эта полоса проявляется и в спектре кристалла с большой концентрацией урана (сравним кривые 5 и 6 на рис.1). Очевидно, это является следствием того, что ОН имеется в ураниле, возможно вхождение ОН в кристалл из воздушной атмосферы при синтезе. Введение в качестве соактиватора ОН в синтезируемый кристалл LiF с ураном приводит к созданию в кристалле комплексного дефекта, содержащего ОН в качестве структурного элемента.

№	A_1	A_2	A_3	$A_1/A_2/A_3$ 100%	τ_1, мкс	τ_2, мкс	τ_3, мкс
1	1,43	0,36	0,115	75/19/6	4,24	25,36	140,57
2	1,53	0,02		98.3/1.7	3,84	64,69	
3	0.46	0,34	0,033	57/42.96/0.04	11,67	24,72	102
4	1,63	0,03		98.6/1.4	4	67,4	

В представленных на рис.1 спектрах можно выделить группу полос с максимумами в области 508, 521 нм. Соотношение между полосами зависит от концентрации введенного урана. В кристаллах с большой концентрацией примеси U основная полоса приходится на 508 нм, тогда как в кристалле с меньшей концентрацией – на 521 нм.

Таблица 1. Характеристики кинетических кривых затухания ИКЛ в области 415 нм: 1 LiF, 2 - LiF+2,0моль%OH, 3 - LiF+0,05%U+0,5моль%OH, 4 - LiF+0,05%U+2,0моль%OH, 5 - LiF+0,05%U, 6 - LiF+0,005%U

5	2,26	0,04		98.3/1.7	4,38	86,5	
6	0,944	0,19	0,041	80/16.6/3.4	4,55	21,5	155

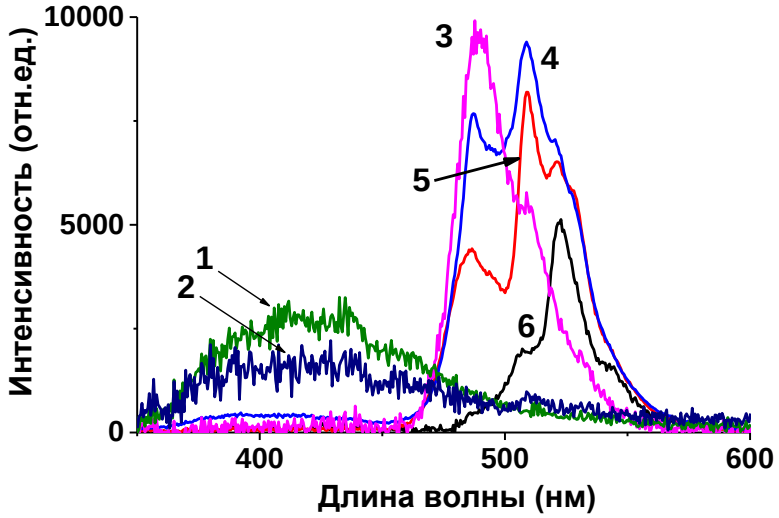

Рисунок 1. Спектры катодолюминесценции кристаллов 1 - LiF, 2 - LiF+2,0мол%OH, 3 – LiF+0,05%U+2,0мол%OH, 4 - LiF+0,05%U+0,5мол%OH, 5 - LiF+0,05%U, 6 - LiF+0,005%U.

На рис. 2 приведены для примера кинетические кривые затухания люминесценции в области 415 нм после импульса возбуждения потоком электронов в кристаллах LiF и LiF+2,0мол%OH. Результаты анализа кинетических кривых затухания приведены в таблице 1.

Кинетика затухания люминесценции во всех исследованных кристаллах многокомпонентна. Во всех кристаллах, за исключением LiF+0,05%U+0,5моль%OH, имеется коротковременной компонент с характеристическим временем затухания τ_1 около 4 мкс и амплитудой A_1, которая почти на два порядка выше, чем у остальных компонентов. Коротковременной компонент обеспечивает оновной вклад в высвеченную светосумму. В кристалле LiF+0,05%U+0,5моль%OH коротковременной компонент имеет значительно большее значение характеристического времени затухания, вклад этого компоента меньше. Вероятной причиной такого отклонения является сильное перекрывание всех полос спектра в этом кристалле.

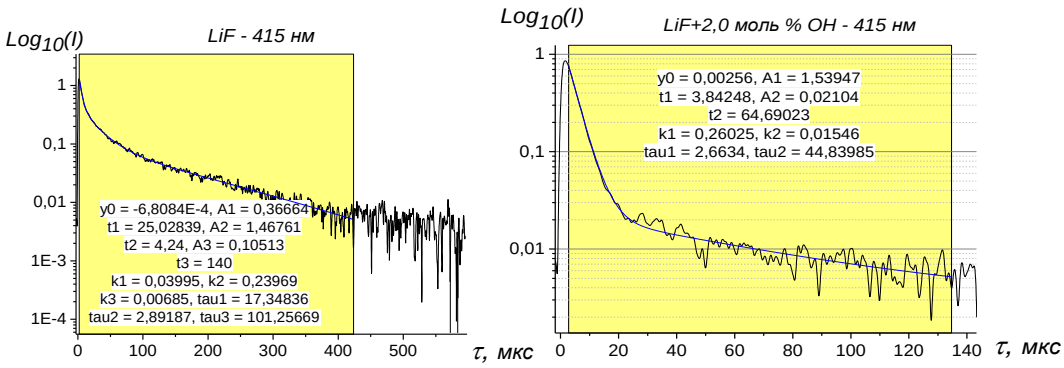

Рисунок 2. Кинетические кривые затухания люминесценции в области 415 нм после импульса возбуждения потоком электронов в кристаллах LiF и LiF+2,0мол%OH

На рис. 3 приведены для примера кинетические кривые затухания люминесценции в области 488 - 521 нм после импульса возбуждения потоком электронов в кристаллах LiF+0,05%U+0,5моль%OH, LiF+0,005%U и LiF+0,05%U+2,0моль%OH. Результаты анализа

№	A_1	A_2	A_3	$A_1/A_2/A_3$ 100%	τ_1, мкс	τ_2, мкс	τ_3, мкс

кинетических кривых затухания приведены в таблице 2

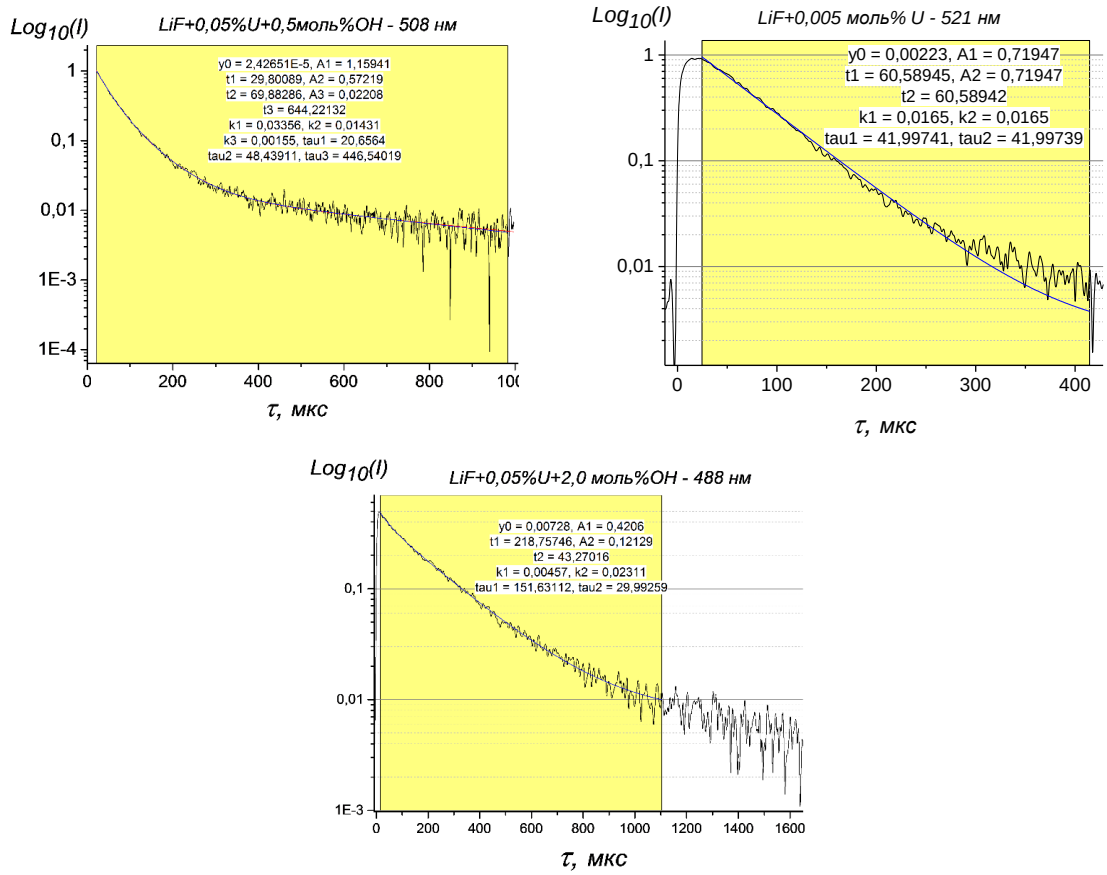

Рисунок 3. Кинетические кривые затухания люминесценции в области 488 - 521 нм после импульса возбуждения потоком электронов в кристаллах LiF+0,05%U+0,5моль%OH, LiF+0,005%U и LiF+0,05%U+2,0моль%OH

Таблица 2. Кинетика ИКЛ :1 - LiF+0,05%U+2,0моль%OH (488 нм), 2 - iF+0,05%U+0,5моль%OH(508 нм), 3 - LiF+0,05%U (508 нм), 4 - LiF+0,005%U (521 нм)

№	A_1	A_2	A_3	$A_1/A_2/A_3$ 100%	τ_1, мкс	τ_2, мкс	τ_3, мкс
1		0,42	0,12	78/22		42,9	217,8
2	1,16	0,57	0,022	66/32,5/1,5	30	70	644
3		0,86	0,07	92,4/7,6		53,83	226,6
4				100		60,6	

Кинетика затухания во всех исследованных кристаллах в трех основных полосах люминесценции многокомпонентна. Во всех кристаллах основной компонент затухания имеет величину в диапазоне 40 – 70 мкс. Длинновременной компонент вносит малый вклад в светосумму люминесценции. Некоторое отличие кинетической кривой затухания в кристалле LiF + 0,05% U + 0,5моль% OH обьясняется очевидно перекрыванием всех полос спектра в этом кристалле.

Выводы

Кристаллы фторида лития, активированные ураном, с введенными соактиваторами могут высокую эффективность преобразования энергии радиации в световую в видимом диапазоне спектра. Поэтому представляется перспективным использование их в качестве сцинтилляционных. Представленные в настоящей работе результаты исследования кинетики затухания люминесценции показали, что в кинетике наблюдается по крайней мере три выраженных компонента затухания. Из трех компонентов основной вклад в светосумму вносит компонет с длительностью затухания в области 40 – 70 мкс. Поэтому сцинтиллятор на основе фторида лития может быть использован для регистрации потоков излучения малой интенсивности.

Список литературы

1. Черепанов А. Н., Иванов В.Ю., Королева Т. С., Шульгин Б. В. Люминесценция обьемных, волоеконных и инаноразмереных кристаллов LiF и NaF. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006, 304 с.
2. 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.
3. Пустоваров В. А., Шульгин Б.В., Кирм М., Кидибаев М. М., Жамангулов А. А. Вакуумная ультрафиолетовая спектроскопия кристаллов LiF–U, NaF–U, Cu // Опт. и спектр. – 2000. – Т. 88, – № 5. – С. 790-794.
4. 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.
5. Лисицына Л.А., Корепанов В.И., Лисицын В.М., Елисеев А.Е., Тимошенко Н.Н., Даулетбекова А.К. Активаторная катодолюминесценция кислородсодержащих кристаллов LiF // Оптика и спектроскопия. – СПб., –2011, – Т. 110, № 4. – С. 568-573.
6. Непомнящих А.И., Раджабов Е.А., Егранов А.В. Центры окраски и люминесценция кристаллов LiF. – Новосибирск: Наука. – 1984. – 113 с.
7. Jain V.K. Thermoluminescence mechanism in LiF (TLD-100) from 90 to 300K // Journal of Physics D: Applied Physics. – 1986. – Vol.19, – №9. – P.1791.
8. Ребане Л.А. Люминесценция примесной молекулы O^{2-} в щелочно–галоидных кристаллах // Труды ИФА АН ЭССР. – 1968. – Т. 37. – С. 14-45
9. L. A. Lisitsyna, V. I. Oleshko, S. N. Putintseva, and V. M. Lisitsyn. Pulsed Cathodoluminescence of Irradiated LiF–O and LiF(U)–O Crystals, Optics and Spectroscopy, 2008, Vol. 105, No. 4, pp. 531–537.

KINETICS OF CATHODOLUMINESCENCE OF LITHIUM FLUORIDE CRYSTALS ACTIVATED BY URANIUM

Zh. T. Karipbaev [1], D.A. Musakhanov [2], F.U. Abuova [3]
[1] PhD, acting associate Professor, [2] PhD student 3 years of study, [3] PhD, acting associate Professor
[1,2,3] L.N. Gumilyov Eurasian national University, Astana, Kazakhstan
[1,2] Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
email: Fatika_82@mail.ru

The article investigates the kinetics of cathodoluminescence of lithium fluoride crystals activated by uranium of various concentrations. The energy of pulsed electrons is 250 keV, lasting 10 ns. In pure and OH-containing crystals, a band in the region of 425 nm is excited. In crystals containing U or the coactivators of U and OH, the luminescence spectra differ significantly in structure and intensity. In the spectra of crystals containing U and OH coactivators, a luminescence band is observed in the region of 490 nm. . In all crystals, the main attenuation component has a value in the range 40–70 μs. Therefore, a scintillator based on lithium fluoride can be used to register low-intensity radiation fluxes.

Keywords: *luminescence kinetics, decay time, lithium fluoride, uranium*

УРАНМЕН БЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЛИТИЙ ФТОРИДТІ КРИСТАЛДАРЫНЫҢ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫНЫҢ КИНЕТИКАСЫ

Ж.Т. Кәріпбаев[1], Д.А. Мусаханов[2], Ф.У. Абуова [3]
[1] PhD, доцент м. а., [2] аспирант, [3] PhD, доцент м. а.
[1,2, 3] Л.Н. атындағы Гумилев Еуразия ұлттық университеті., Астана, Қазақстан
[1,2] Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей
email: Fatika_82@mail.ru

Мақалада әртүрлі концентрациядағы уранмен белсендірілген литий фторидінің кристалдарының катодолюминесценциясының кинетикасы зерттелген. Импульсті электрондардың энергиясы 250 кэВ, 10 нс. Таза және құрамында OH бар кристалдарда 425 нм аймақтағы диапазон қозғалады. Құрамында U немесе U және OH коактиваторлары бар кристалдарда люминесценция спектрлері құрылымы мен қарқындылығында айтарлықтай ерекшеленеді. Құрамында U және OH коактиваторлары бар кристалдардың спектрінде люминесценциялық диапазон 490 нм аймақта байқалады. . Барлық кристалдарда негізгі сөну компоненті 40-70 мкс аралығында болады. Сондықтан литий фторидіне негізделген сцинтилляторды аз қарқынды радиациялық ағындарды тіркеу үшін пайдалануға болады.

Түйінді сөздер: *люминесценция кинетикасы, ыдырау уақыты, литий фториді, уран*

Поступила в редакцию 02.09.2019