

05;07;10;11

Термостимулированная экзоэлектронная эмиссия кристаллов фторидов лития и натрия, активированных ураном

© А.И. Слесарев, А.А. Жамангулов, М.М. Кидибаев,
В.С. Кортон, Б.В. Шульгин

Уральский государственный технический университет, Екатеринбург
Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова,
Каракол, Кыргызская Республика

Поступило в Редакцию 16 ноября 1999 г.

Обнаружены новые высокотемпературные пики термостимулированной экзоэлектронной эмиссии для кристаллов $(\text{Li, Na})\text{F-U}$, Me. Определены параметры термостимулированной экзоэлектронной эмиссии.

Активированные ураном кристаллы LiF-U и NaF-U относятся к классу уникальных полифункциональных материалов [1–5]. На основе соактивированных составов $(\text{Li, Na})\text{F-U}$, Me, где Me = Cu, Zn, Ti, Pb, Sc, Sr, предложены термолюминесцентные, сцинтилляционные, абсорбционные, электронно-парамагнитные (ЭПР) и термоэкзоэмиссионные детекторы электромагнитного и корпускулярного излучений, рабочие элементы для лазеров на центрах окраски, оптические среды для записи и хранения информации [5]. Создаваемые на базе $(\text{Li, Na})\text{F-U}$, Me рабочие вещества для термоэкзоэмиссионных детекторов с повышенными рабочими температурами представляют интерес для высокотемпературной дозиметрии ионизирующих излучений. В ряде специфических случаев (анализ радиационной обстановки сверхглубоких скважин и хранилищ радиоактивных отходов, где рабочие температуры могут достигать 200°C и выше), термоэкзоэмиссионные детекторы излучений могут оказаться предпочтительными. Предварительными исследованиями установлено, что высокотемпературные пики термостимулированной экзоэлектронной эмиссии (ТСЭЭ) расположены при 613 K (340°C) у кристаллов LiF-U , Me и 663–673 K ($390\text{--}400^\circ\text{C}$) у кристаллов NaF-U , Me [5]. Однако проведенные нами дополнительные исследования ТСЭЭ известных и новых составов на основе кристаллов LiF-U и NaF-U с соактиваторами показали, что существуют и более высокотемпературные

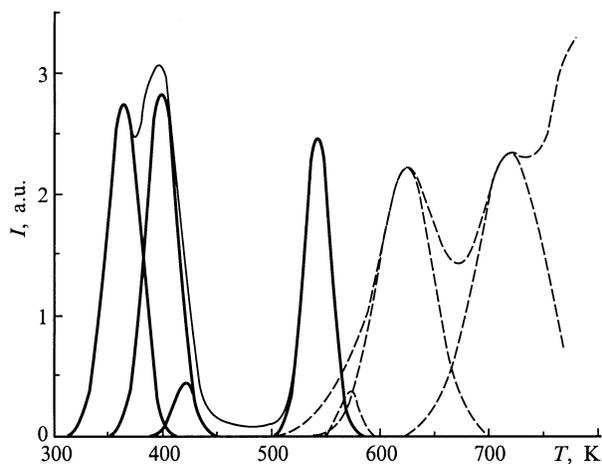


Рис. 1. Кривые термостимулированной экзоэлектронной эмиссии кристаллов LiF-U, Cu, облученных электронами.

пики ТСЭЭ. Настоящее сообщение посвящено описанию результатов этих исследований.

Образцы. Были исследованы монокристаллы LiF-U, Cu, LiF-U, Sr, NaF-U, Sr и NaF-U, Sr, выращенные в институте физики Национальной академии наук Республики Кыргызстан из шихты особой чистоты методом Киропулоса. Содержание активаторов в шихте составляло 0.01–0.1 mol.%. Образцы выкладывались из выращенных кристаллических булей в виде тонких 0.3–0.4 mm пластинок (квадратной формы, 10×10 mm). Перед измерениями проводился отжиг кристаллов при $T = 800$ K в течение 10 min.

Аппаратура. Измерения ТСЭЭ выполнены на автоматизированном экзоэмиссионном спектрометре в вакууме $\sim 10^{-5}$ Pa [6]. Образцы облучали электронами с энергией 1 keV в течение 1 s при плотности тока $\sim 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, после чего их нагревали. Скорость линейного нагрева образцов составляла ~ 20 K/s. Обработка спектров ТСЭЭ проводилась с использованием подпрограммы "PROCESS" [7]. Разложение сложных спектров на элементарные полосы выполнено после предварительного сглаживания спектров в предположении кинетики процесса первого порядка. Энергия активации ТСЭЭ вычислена по полуширине элементарных полос в разложении спектра.

Параметры ТСЭЭ кристаллов LiF-U, Me

Кристалл	T_{\max} , К	Полуширина, К	E , eV
LiF-U, Cu	363	44	0.78
	399	40	0.86
	421	28	0.91
	543	36	1.17
	573	28	1.19
	610	80	1.32
	714	100	1.54
LiF-U, Sr	327	48	0.71
	377	68	0.81
	431	64	0.93
	477	52	1.03
	517	52	1.12
	623	36	1.34
	737	28	1.51
	737	68	1.59

Результаты и обсуждение. Для ТСЭЭ образцов LiF-0.01U + 0.1Cu в области температур 300–650 К (рис. 1) характерен высокий выход эмиссии электронов в интервале 320–450 К. Энергия активации центров захвата, ответственных за эти пики ТСЭЭ, равна 0.7–0.9 eV (см. таблицу). Характерной особенностью кристаллов LiF-U, Cu является наличие высокоинтенсивного неперекрывающегося пика ТСЭЭ при 543 К с энергией активации $E \cong 1.17$ eV. При заполнении только глубоких ловушек при высокотемпературном облучении ($T \geq 450$ К) на кривых ТСЭЭ проявляются пики при 610, 714 К и намечающийся пик при $T > 775$ К (рис. 1, пунктир). Пик при ~ 573 К на кривых ТСЭЭ явно не проявляется, он получен путем разложения кривых на элементарные полосы. Кривые ТСЭЭ для образцов LiF-0.01U+0.1Sc состоят из четырех перекрывающихся полос с энергией активации в интервале ($\sim 0.7-1.0$) eV. Доминирующим является пик при 332 К с $E = 0.72$ eV. Максимум при 543 К, характерный для кристаллов с примесью Cu, отсутствует. Для образцов LiF-U, Sr также имеются высокотемпературные пики ТСЭЭ (см. таблицу), обнаружен новый пик при 737 К. Кривые ТСЭЭ для LiF-U, Sr приведены на рис. 2, а. Как видно из таблицы и рис. 1 и 2, а, характер кривых ТСЭЭ для кристаллов LiF-U, Me зависит от типа соактиватора.

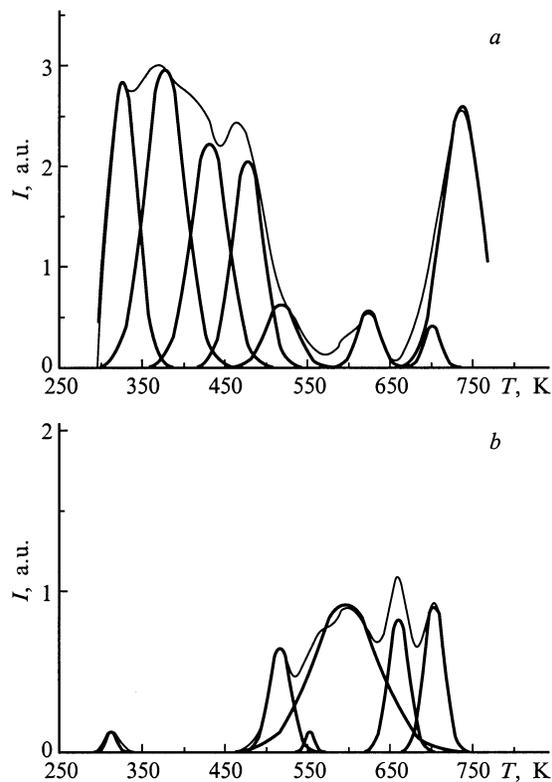


Рис. 2. Кривые термостимулированной экзоэлектронной эмиссии кристаллов LiF-U, Sr (*a*) и NaF-U, Sr (*b*), облученных электронами.

Для образцов NaF-U, Sr основной спектр ТСЭЭ регистрируется в интервале 470–750 К (рис. 2, *b*). В области высоких температур обнаружен новый пик при 702 К. Ему соответствует ловушка с энергией активации 1.52 eV.

Анализ полученных результатов и данных работы [1] показывает, что для LiF-U, Me температурная область активной термоэмиссии электронов совпадает с областью терморазрушения как простых F-электронных центров окраски, так и агрегатных электронных центров окраски: F₂⁻, F₂⁺- и F₃-типов (полосы поглощения последних при 440, 643 и

834 nm соответственно). Температурная область начала наибольшего ослабления F_2 -полосы (λ 440 nm, наиболее интенсивной из всех полос агрегатных центров окраски) согласуется с положением основного максимума на кривых ТСЭЭ (363–400 К). Более высокотемпературные пики ТСЭЭ в LiF-U, Me связаны, по-видимому, с деструкцией F- и F_A -полос (250 и 262 nm). Разрушение электронных центров окраски может быть обусловлено их рекомбинацией с дырочными H-центрами (междоузельными атомами галоида), которые в соактивированных кристаллах LiF-U, Me имеют повышенную термостабильность. Возможно участие в деструкции электронных центров окраски и дырочных центров иной природы. Для кристаллов NaF-U, Me, в которых доминирующими центрами окраски (из агрегатных центров) являются F_3^+ -центры (λ 518 nm), наблюдаемые термоактивационные процессы могут быть связаны с деструкцией F_3^+ - и F-центров. Наряду с ТСЭЭ в исследуемых образцах зафиксирована термостимулированная люминесценция (ТСЛ) с пиками примерно при тех же температурах, что и ТСЭЭ. Отметим, что зависимость интенсивности пиков ТСЭЭ от дозы облучения (проверено для случая облучения электронами или рентгеновским излучением) имеет для кристаллов (Li, Na)F-U, Me линейный участок до $\sim 10^3$ Gy, что указывает на возможность их применения в качестве высокотемпературных термоэкзоэмиссионных дозиметров при контроле радиационной обстановки, например в сверхглубоких скважинах, в хранилищах радиоактивных отходов и т.д.

Список литературы

- [1] *Runciman W.A.* // Nature. 1955. V. 175. N 4468. P. 39–47.
- [2] *Феофилов П.П.* // Опт. и спектр. 1959. Т. 7. В. 1. С. 126–128.
- [3] *Каплянский А.А., Москвин Н.А.* // Опт. и спектр. 1962. Т. 13. В. 4. С. 542–549.
- [4] *Беляев Л.М., Добржанский Г.Ф., Феофилов П.П.* // Изв. АН СССР. Сер. Физ. 1961. Т. 25. № 4. С. 548–556.
- [5] *Кидибаев М.М.* Радиационно-стимулированные процессы в кристаллах (Li, Na)F-U, Me. Каракол–Екатеринбург. Иссык-Кульский государственный университет, Уральский государственный технический университет, 1999. 220 с. (ISBN 5–230–06574–5).
- [6] *Кортов В.С., Исаков В.Г., Слесарев А.И.* и др. // Дефектоскопия. 1996. № 1. С. 50–59.
- [7] *Исаков В.Г., Главатских И.А., Кортов В.С.* // Дефектоскопия. 1998. № 12. С. 14–27.