

СПЕКТРЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ФТОРИДА ЛИТИЯ

Институт физики НАН Беларуси, – Минск, Беларусь

В температурном диапазоне от 80 К до 300 К проведено сравнение спектров термолюминесценции для нанокристаллов и кристаллов фторида лития. Измерены интегрированные по спектру и температурному диапазону интенсивности термолюминесценции для образцов фторида лития двух типов, отличающихся наличием возможности формирования радиационных центров окраски с новыми свойствами. Обнаружено, что в образцах фторида лития, содержащих указанные центры окраски, интенсивность существенно выше. Показано, что в спектрах нанокристаллов и кристаллов наблюдаются четыре и одна полосы соответственно.

Формирование и характеристики радиационных точечных дефектов (центров окраски (ЦО)) в ионных кристаллах исследуются на протяжении многих лет. Необходимость исследований обусловлена разнообразными применениями таких материалов. Например, они широко используются для дозиметрии и детектирования ионизирующего излучения и элементарных частиц. Нанокристаллы (НК) из таких материалов перспективны для применений в качестве дозиметров с улучшенными характеристиками. Они демонстрируют намного более широкую область линейного отклика на дозу радиации или флюенс заряженных частиц, чем макрокристаллы того же состава [1]. Широко используемым материалом в радиационной дозиметрии является фторид лития. Несмотря на длительное использование термолюминесцентных дозиметров на основе LiF, исследования их свойств и выяснение путей их совершенствования продолжаются [2,3].

В кристалле определенного состава создаются присущие ему ЦО с определенными свойствами и параметрами. В ионных кристаллах возможно формирование центров окраски с характеристиками, существенным образом отличающимися от аналогичных характеристик ранее известных ЦО того же состава. В работах [4,5] показано, что во фториде лития и в других ионных кристаллах могут быть сформированы радиационные центры окраски с новыми, неизвестными ранее свойствами. Условия для формирования таких центров создаются как в нанокристаллах, полученных при механической фрагментации кристаллов, так и при специальных технологических воздействиях на кристаллы [6]. Термолюминесценция (ТЛ) кристаллов, в которых при воздействии радиацией возникают дефекты с новыми свойствами, представляет научный и практический интерес.

В настоящей работе приведены результаты исследований ТЛ таких объектов, сравниваются спектры и интенсивности низкотемпературной ТЛ в области 80—300 К для образцов фторида лития двух типов, обладающих и не обладающих свойствами для формирования радиационных центров окраски с новыми свойствами.

Измерялась ТЛ кристаллических пластинок и НК LiF. Пластинки вырезались из номинально чистого монокристалла вдоль плоскости {100}. НК изготавливались путем механической фрагментации некоторых пластинок в шаровой мельнице (Vibrator GM 9458, Германия). Изображения НК, полученные на просвечивающем электронном микроскопе, показали, что большинство из них имеют размеры от 50 до 500 нм. Для экспериментов взяты образцы из НК трех типов, приготовленных разными способами. В первом случае образец состоял из изготовленных НК, которые перед облучением γ -квантами выдерживались не менее 24 ч при комнатной температуре. Во втором случае изготовленные НК перед облучением отжигались при температуре 500 °С в течение 1 ч. Третий тип образцов представлял собой таблетки, спрессованные из не отожженных НК. Проведенные ранее измерения [4,6] показали, что радиационные центры окраски с новыми свойствами не наблюдаются в кристаллических пластинках и в НК, отожженных перед облучением при $T_{отж} = 500$ °С; в других используемых образцах такие центры формируются. Приготовленные кристаллические пластинки и образцы из НК облучались γ -квантами от источника ^{60}Co дозой 50 кГр при температуре жидкого

азота. После облучения каждая пластинка или образец из НК извлекались из азота и помещались в одну из двух измерительных установок при комнатной температуре. В установках температура образца постепенно (без дополнительного подогрева) повышалась от температуры жидкого азота до комнатной, т. е. от ~ 80 К до 300 К. Спектры и суммарные интенсивности ТЛ, испускаемой образцом в процессе изменения температуры, регистрировались с помощью разных экспериментальных установок.

С помощью фотометрической сферы измерены временные зависимости интегральной по спектру интенсивности ТЛ в единицах фототока приемника (с учетом его спектральной чувствительности). Из полученных зависимостей найдены интегральные по спектрам и диапазону изменения температур интенсивности ТЛ. Эти интенсивности нормированы на вес образцов, что позволяло сравнивать их для образцов различных типов, облученных одинаковой дозой.

На рисунке 1 для таблетки из НК и кристаллической пластинки представлены временные зависимости интенсивности ТЛ. Измерения зависимостей начинались до возникновения ТЛ, однако для единообразия начала отсчета времени показана регистрация сигналов с момента возникновения ТЛ t_0 , принятого за нуль. Различия в скорости роста и продолжительности свечения для таблетки из НК и кристаллической пластинки объясняются меньшей толщиной таблетки по сравнению с пластинкой и, следовательно, более быстрым нагреванием таблетки до комнатной температуры после выемки из жидкого азота.

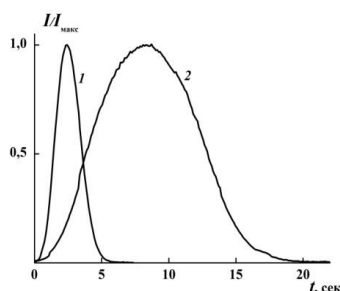


Рисунок 1 – Временные зависимости интенсивностей ТЛ, нормированных к максимальным значениям, для таблетки из НК (1) и кристаллической пластинки (2) при их нагревании от 80 до 300 К.

Спектры ТЛ регистрировались на протяжении всего времени высвечивания образцов. На рисунке 2 представлены спектры, измеренные в различные моменты высвечивания, для двух кристаллических пластинок, изготовленных из разных образцов монокристалла LiF.

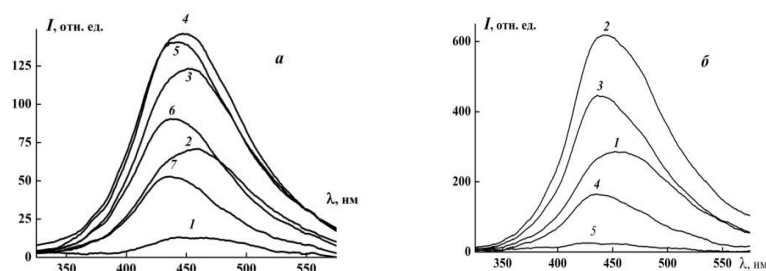


Рисунок 2. Изменения спектров ТЛ двух кристаллических пластинок, изготовленных из разных образцов монокристалла LiF (а и б), облученных γ -квантами при температуре жидкого азота и нагреваемых от 80 до 300 К; температура нагрева возрастает в последовательности, указанной цифрами у спектров.

Измерения в диапазоне 300—600 нм демонстрируют наличие одной полосы излучения с максимумом при 450 нм. При регистрации ТЛ в диапазоне 450—900 нм записывается только длинноволновая часть той же полосы. Таким образом, в спектре ТЛ кристаллов LiF в изучаемой низкотемпературной области регистрируется одна полоса.

Спектры ТЛ образцов из НК, не отоженных перед облучением, частично представлены на рисунке 3. Спектры 1 и 2 зарегистрированы в различные временные интервалы после

начала нагревания образцов (сначала спектр 1, затем спектр 2), т. е. при различных температурах образцов. Эти температуры неодинаковы для случаев, проиллюстрированных на рис. 3. Отметим, что при варьировании времени записи по отношению к началу ТЛ количество полос в спектрах не изменяется в отличие от соотношения максимальных интенсивностей.

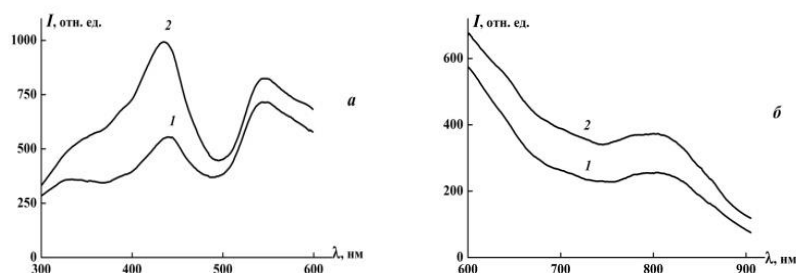


Рисунок 3. Спектры термолюминесценции нанокристаллов из фторида лития, облученных γ -квантами при температуре жидкого азота и нагреваемых от 80 до 300 К; спектры зарегистрированы в диапазонах 300—600 нм (а) и 600—900 нм (б) в каждом по два раза за время нагревания образцов (1 и 2).

В спектрах ТЛ образцов, состоящих из НК, наблюдается полоса с максимумом при ~ 440 нм, которая регистрировалась и для кристаллических пластинок (см. рис. 4, а и рис. 2). Кроме того, в спектрах НК имеются еще три ярко выраженные полосы с максимумами при ~ 330 , 545 и 800 нм. Таким образом, спектры ТЛ кристаллов и НК LiF сильно различаются. Полученные результаты показывают, что характеристики термолюминесценции в образцах фторида лития, в которых возможно формирование радиационных центров окраски с новыми свойствами, существенно отличаются от характеристик в образцах, где такое формирование невозможно.

Измерения интенсивностей термолюминесценции, интегральных по спектру и изменению температуры в диапазоне 80—300 К, позволили сравнить их для образцов, в которых возможно и невозможно формирование радиационных центров окраски с новыми свойствами. Интенсивности, нормированные на вес, для образцов первого типа в $\sim 2,4$ раза больше, чем для образцов второго типа. Это позволяет рассматривать возможность использования подобных образцов для изготовления дозиметров ионизирующего излучения повышенной чувствительности.

Список литературы

1. Lecoq P., Gektin A., Korzhik M. Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering. — Berlin.: Springer, 2017. — 408 p.
2. Parisi A., Dabin J., Schoonjans W., Van Hoey O., Megret P., Vanhavere F. Photon energy response of LiF:Mg,Ti (MTS) and LiF:Mg,Cu,P (MCP) thermoluminescent detectors: Experimental measurements and microdosimetric modeling// Radiat. Phys. Chem.— 2019. — Vol. 163, No. 1. P. 67—73.
3. Arzaga-Barajas E., Massillon G. Thermoluminescent relative efficiency of TLD-100 glow peaks after exposure to X-rays of 20 kV–300 kV, ^{137}Cs and ^{60}Co gamma// Radiat. Phys. Chem.— 2021. — Vol. 146, No. 1. P. 106635(1—6).
4. Voitovich A. P., Kalinov V. S., Korzhik M. V., Martynovich E. F., Runets L. P., Stupak A. P. The aggregation and characteristics of radiation-induced defects in lithium fluoride nanocrystals// Radiat. Eff. Def. Solids — 2013. — Vol. 168, No. 2. P. 130—136.
5. Voitovich A. P., Kalinov V. S., Loiko M. V., Martynovich E. F., Mateos X., Novikov A. N., Pershukovich P. P., Runets L. P., Serres J. M., Stupak A. P. Luminescent properties of radiation induced defects in sodium and magnesium fluorides nanocrystals // J. Lumin.— 2018. — Vol. 201, No. 1. P. 57—64.
6. Voitovich A. P., Ignatenko O. V., Kalinov V. S., Kostik O. E., Novikov A. N. Radiation-induced color centers with new properties in lithium fluoride crystals subjected to thermal shocks or compression// Radiat. Eff. Def. Solids — 2021. — Vol. 176, No. 5-6. P. 529—537.