

05:07
©1994

ИНЕРЦИОННАЯ КИНЕТИКА КОРОТКОВОЛНОВОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОВ LiV_3O_5

*И.Н.Огородников, А.Ю.Кузнецов,
А.В.Кружалов, В.А.Маслов*

В работах [1-4] нами исследованы различные аспекты радиационной физики кристаллов LiV_3O_5 . В настоящем сообщении представлены новые результаты по взаимодействию низкоэнергетических электронных возбуждений с элементарными точечными дефектами, полученные преимущественно спектрально-кинетическим и термоактивационным методами.

Монокристаллы LBO оптического качества выращены раствор-расплавным методом [5]. Образец представлял собой плоскопараллельную пластинку полярного среза $10 \times 10 \times 1.5$ мм. В качестве источника электронов использован аппарат МИРА-2Д с параметрами импульса ($E = 200$ кэВ, $\tau = 15$ нс). Кинетика импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) LiV_3O_5 изучена в диапазонах $10^{-9} - 10^2$ и $77 - 500$ К с использованием многоканального анализатора формы сигнала, работающего в контуре с ЭВМ [6]. Шаг по температуре составил 20 К. В каждой температурной точке проводили аппроксимацию экспериментальных результатов теоретической зависимостью.

Как было показано нами ранее [1], кристаллы LiV_3O_5 характеризуются интенсивной широкополосной УФ-люминесценцией ($E_m = 4.2$ эВ). В предположении, что зависимость интенсивности стационарной рентгенолюминесценции $I_s(T)$ от температуры отражает температурную зависимость квантового выхода, можно сделать ряд важных предварительных выводов. Из рисунка следует, что в области $77-120$ К $I_s(T)$ разгорается с энергией активации $E_1 = 9.5$ мэВ, а в области $120-240$ К $E_2 = 65$ мэВ. При $240-260$ К $I_s(T)$ имеет максимум, а при дальнейшем повышении температуры наблюдается термическое тушение, подчиняющееся закону Мотта с $E_m = 295$ мэВ. Характерная точка излома $I_s(T)$ ($T = 130$ К) соответствует пику ТСЛ в области которого происходит термический распад дефектов с энергией активации $E_{T1} = 250$ мэВ. Согласно [7], для системы с одним центром захвата (ЦЗ) и центра рекомби-

Значения энергий активации термоактивационных процессов в кристаллах LBO, полученные из разных зависимостей, мэВ

Исходная кривая	Температура, К				
	77-130	130-180	180-240	300-380	380-500
$I_0(T)$	9.5	67	560	560	295
$\tau(T)$	11	71	560	560	11
$I_s(T)$	9.5	65	65	295	295
ТСЛ(T_m, K)	—	150(130)	500(180)	560(240)	900(330)

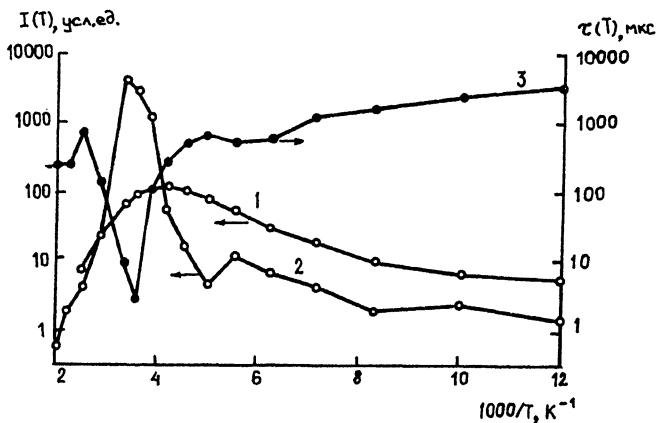
нации (ЦР) температурная зависимость квантового выхода люминесценции, возбуждаемой в результате рекомбинации, может подчиняться соотношению

$$\eta(T) \sim \exp\left(-\frac{E}{2K_b T}\right), \quad (1)$$

где E — энергетическая глубина ЦЗ. Легко видеть, что значение $E_{T1}/2$ близко к E_2 , что свидетельствует об участии данного ЦЗ в процессе передачи энергии центрам свечения. Разумно предположить, что величина E_1 , наблюдаемая ниже 130 К, обусловлена мелкими ЦЗ с $E_{T0} = 2 \cdot E_1 = 19$ мэВ, термическая стабильность которых ограничена температурой ниже 77 К. Это позволяет, в частности, объяснить длительное послесвечение LiV_3O_5 при 77 К после рентгеновского облучения [1]. Термическое тушение люминесценции LiV_3O_5 начинается в области пика ТСЛ (240–260 К), где происходит термический распад дырочного О-центра [3]. Однако природа ЦС в LiV_3O_5 до сих пор не установлена. Вопрос о характере температурного тушения люминесценции при $T > 260$ К остается открытым.

Корреляция между характерными точками температурной зависимости люминесценции (см. таблицу) и отжигом центров захвата LiV_3O_5 [1,3] свидетельствует, что рекомбинационные процессы обуславливают эффективный канал передачи энергии центрам свечения LiV_3O_5 и должны соответствующим образом проявляться в кинетике коротковолновой люминесценции LiV_3O_5 .

Кинетика ИКЛ ($\lambda = 294$ нм) характеризуется несколькими компонентами: быстрый компонент $\tau_F = 15$ нс с экспоненциальным законом затухания и, по крайней мере, два медленных с соотношением интенсивностей 1:3:30. Анализ инерционной составляющей кинетики показал, что в исследованных временном и температурном диапазонах кинетика ИКЛ $I(t)$ на начальном участке содержит экспоненци-



Температурная зависимость УФ-люминесценции кристаллов LiV_3O_5 : $I_s(T)$ — (1), $I_0(T)$ — (2) и $\tau(T)$ — (3).

альную составляющую ($\tau = 10\text{--}40$ мкс), далее следует гиперболическая зависимость. Если гиперболическая зависимость может быть уверенно выделена во всей температурной области $77\text{--}500$ К, то экспоненциальный компонент — лишь в температурной области $77\text{--}180$ К. В этой связи основное внимание при анализе было уделено гиперболической составляющей инерционной кинетики ИКЛ

$$I(t) = \frac{I_0}{(1 + t/\tau)^p}, \quad (2)$$

где I_0 — начальная интенсивность люминесценции при $t = 0$, p — порядок кинетики ($1 \leq p \leq 2$), τ — постоянная времени процесса. На рисунке приведены температурные зависимости $I_0(T)$ и $\tau(T)$ в аррениусовых координатах.

Из рисунка следует, что в температурной области $77\text{--}180$ К кривая I_0 ведет себя симбатно зависимости $I_s(T)$, значения энергий активации, полученные при анализе этих кривых, достаточно близки (67 и 65 мэВ). Из [7] следует, что для простейшей зонной модели рекомбинационного процесса с участием центров двух сортов (ЦЗ и ЦР) имеет место соотношение $I_0 \sim n_0/\tau$, где n_0 — концентрация локализованных носителей заряда на центрах захвата при $t = 0$. Это может обуславливать, при определенных условиях, антибатное поведение кривых $I_0(T)$ и $\tau(T)$. Как видно из рисунка, в области $77\text{--}130$ К такое поведение имеет место, но при $160\text{--}180$ К наблюдается отклонение от предполагаемой теоретической зависимости. В данной области температур наблюдается пик ТСЛ при 180 К [1] и особенности на кривой $\tau(T)$ могут быть вызваны вкладом от делокализуемых при этом носителей заряда. Малая концентрация

(по данным ТСЛ) центров захвата вероятно определяет их малый вклад в общий рекомбинационный процесс, что не влияет на $I_0(T)$, но сказывается на $\tau(T)$.

В температурной области 200–350 К кривая $I_0(T)$ существенным образом отличается от $I_s(T)$ (см. рисунок). Величина разгорания $I_0(T)$ составляет не полторы, а три декады; температурное положение максимума $I_0(T)$ (300 К) не соответствует таковому для $I_s(T)$ (240 К); энергии активации разгорания и спада $I_0(T)$ близки к энергии термической активации пика ТСЛ при 240 К (560 мэВ), тогда как термическое тушение $I_s(T)$ характеризуется энергией активации 295 мэВ. Данные факты позволяют высказать предположение, что пик на кривой $I_0(T)$ (см. рисунок) и пик ТСЛ при 240 К обусловлены термическим распадом одних и тех же центров. Но вопрос об их природе и роли в УФ-люминесценции LiV_3O_5 не выглядит столь однозначным. Действительно, если считать, что основной центр рекомбинации LiV_3O_5 , то спад $I_s(T)$ после 240 К и разгорание $I_0(T)$ в этой же области может быть приписано внешнему тушению второго рода. Хотя большая величина разгорания $I_0(T)$ (3 декады) и несовпадение энергии активации с таковой для термического тушения $I_s(T)$ вызывает некоторое удивление. С другой стороны, появление в результате этого процесса интенсивного пика ТСЛ при 240 К с идентичным спектральным составом [1], заставляет предположить, что разгорание $I_0(T)$ при $T > 180$ К и пик ТСЛ при 240 К обусловлено термическим распадом одних и тех же ЦЗ, а термическое тушение стационарной люминесценции LiV_3O_5 после 240 К обусловлено, по всей видимости, совершенно другими причинами. В этом случае следует считать, что основные центры рекомбинации LiV_3O_5 имеют термическую стабильность несколько выше, чем температура термического распада ЦЗ, обуславливающих пик ТСЛ при 240 К. Наиболее вероятной кандидатурой следует считать ЦЗ, дающие при распаде крайне слабый пик ТСЛ при 332 К [1], однако нельзя исключить из рассмотрения некоторые указания на неэлементарность термоактивационного процесса в области 200–260 К [1].

Таким образом, исследование инерционной составляющей кинетики люминесценции LiV_3O_5 показало, что центры захвата и рекомбинации играют значительную роль в процессе возбуждения коротковолновой УФ-люминесценции LiV_3O_5 . Их влияние простирается до температур выше 400 К, перекрывая температурный диапазон работы изделий на основе LiV_3O_5 . Полученные результаты могут слу-

жить первым шагом к пониманию влияния радиационных дефектов на нелинейные свойства ЛВО.

Авторы признательны Л.В.Викторову и Л.А.Ольховой за помощь в работе.

Список литературы

- [1] *Огородников И.Н., Иванов В.Ю., Кузнецов А.Ю. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 2. С. 14-15.*
- [2] *Огородников И.Н., Иванов В.Ю., Кузнецов А.Ю. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 11. С. 1-5.*
- [3] *Огородников И.Н., Кудряков С.В., Кузнецов А.Ю. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 13. С. 77-80.*
- [4] *Огородников И.Н., Иванов В.Ю., Маслаков А.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 16. С. 42-47.*
- [5] *Maslou V.A., Olkhovaya L.A., Oziko V.V., Shcherbakov E.A. ICCG-10. Tenth Int. Confer. on Crystal Growth. (August 16-121, 1992) Sheraton Harbor Island Hotel, San Diego, California, USA. Oral Presentation Abstracts. 1992. P. 11.*
- [6] *Викторов Л.В., Волков А.Р., Ковшов А.Н. и др. // Радиационно-стимулированные явления в твердых телах: Межвуз. сб. Свердловск, 1985. С. 109-117.*
- [7] *Фок М.В. Введение в кинетику люминесценции кристаллофосфоров. М.: Наука, 1964. 283 с.*

Уральский государственный
технический университет.
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
11 октября 1993 г.