

НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КРИСТАЛЛОФОСФОРАХ *

Ч. Б. ЛУЩИК,

кандидат физико-математических наук

§ 1. Методы исследования релаксационных процессов в кристаллофосфорах

Переход кристаллофосфора из одного равновесного состояния в другое (процесс релаксации) в общем случае складывается из ряда связанных между собой элементарных процессов, каждый из которых совершается с характерной для него в данных условиях скоростью.

Если релаксация исследуется в изотермических условиях, то обычно скорости этих элементарных процессов оказываются резко различными. Это не позволяет исследовать весь процесс релаксации с помощью одной экспериментальной методики.

Указанная трудность может быть преодолена, если опыт вести не при $T = \text{const}$, а при постепенном нагреве фосфора. В этих условиях основная доля отдельных элементарных процессов будет протекать при разных температурах, в результате чего разница в их скоростях существенно уменьшится, что позволяет изучить весь релаксационный процесс с помощью одной экспериментальной методики.

Исследование процессов релаксации в неизотермических условиях представляется разумным даже если изучаемый процесс является элементарным. В этом случае постепенный нагрев в известной мере заменяет «функциональный масштаб времени», использованный Н. А. Толстым и П. П. Феофиловым для изучения быстрых релаксационных процессов (1).

При исследовании неизотермических релаксационных процессов до последнего времени во всех работах применялась простейшая форма зависимости $T(t)$: равномерный нагрев системы с постоянной скоростью

$$\frac{dT}{dt} = \beta_0. **$$

Иногда имеет смысл применять более сложную зависимость $T(t)$ с $\frac{dT}{dt} = \beta_0 T^2$. Это упрощает ряд теоретических соотношений (2).

* Краткое содержание настоящей работы доложено на международной конференции по люминесценции в Париже 24 мая 1955 г.

** Отметим, что до сих пор в неизотермических условиях исследовались только процессы перехода из возбужденного состояния в невозбужденное. Нам представляется разумной попытка изучения в неизотермических условиях (при постепенном охлаждении) «процессов разгорания», связанных с переходом системы из невозбужденного состояния в возбужденное.

Нами было показано, что в ряде случаев целесообразно использовать «импульсный нагрев» (рис. 1) (3). Если при температуре T_0 скорость релаксационных процессов практически равна нулю, то такой вид зависимости $T(t)$ полностью эквивалентен равномерному нагреву с постоянной скоростью. При быстром понижении температуры от T_i до T_0 «замораживается» состояние фосфора, характерное для T_i . Оно может быть детально изучено при температуре T_0 , после чего процесс релаксации может быть продолжен путем быстрого изменения температуры от T_0 до T_i и последующего равномерного нагрева.

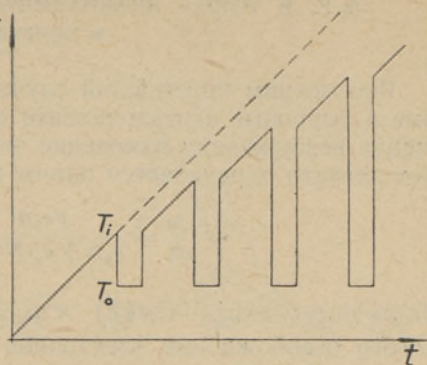


Рис. 1. Температурный режим «импульсного нагрева».

До недавнего времени о неизотермических релаксационных процессах в фосфорах судили лишь по изменению яркости термолюминесценции I (4) и проводимости i (5).

В 1948 году Гарликом была изучена зависимость величины фотодиэлектрического эффекта ($\Delta\epsilon$) от температуры в режиме равномерного нагрева (6).

В 1954 году нами был теоретически обоснован и применен для изучения F -, V -, M -, Z - и др. центров захвата в щелочно-галогидных фосфорах новый метод исследования неизотермических релаксационных процессов — «метод термического обесцвечивания»*. Этот метод сводится к измерению зависимости коэффициента поглощения центров захвата κ от температуры при равномерном нагреве возбужденного фосфора (2, 7, 8, 9). Независимо от наших работ измерения зависимостей $\kappa(T)$ для F -полос в LiF и KCl выполнены другими исследователями (10, 11).

В 1955 году был предложен еще один метод изучения центров захвата, основанный на периодическом измерении яркости оптической вспышки I_L при равномерном нагреве возбужденного фосфора (3). Этот метод, названный нами «методом термооптического высвечивания», был применен Ф. Н. Зайтовым для исследования щелочно-галогидных фосфоров (12, 13) и К. К. Ребане для изучения ZnS- и SrS-фосфоров (27). Метод термооптического высвечивания обладает большой чувствительностью и может быть использован для исследования порошкообразных фосфоров.

Таким образом, неизотермические релаксационные процессы в фосфорах исследуются в настоящее время по крайней мере пятью методами, сводящимися к измерению зависимостей $I(T)$, $i(T)$, $\Delta\epsilon(T)$, $\kappa(T)$ и $I_L(T)$.

Последние три метода допускают возможность применения режима импульсного нагрева, что особенно выгодно в случае исследования фосфоров со сложным спектром уровней захвата. Действительно, если при температуре T_0 (рис. 1) измерять полный спектр возбужденного поглощения или спектр стимуляции оптической вспышки, то открывается возможность одновременно следить за изменением числа электронов и дырок на всех уровнях захвата.

* Метод доложен на объединенном семинаре Института физики и астрономии АН ЭССР и Тартуского университета 23 сентября 1954 г.

§ 2. К теории неізотермических релаксационных процессов в кристаллофосфорах

Рассмотрим простейший случай, когда в фосфоре имеются электронные и дырочные центры захвата только одного типа. Тогда после прекращения возбуждения изменение числа электронов и числа дырок на уровнях захвата определяется одним и тем же уравнением

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{p\sigma_p n^2}{\sigma_p n + \sigma_3(N-n)} + \frac{p_\partial \sigma_{p\partial} n^2}{\sigma_{p\partial} n + \sigma_{3\partial}(N_\partial - n)}. \quad (1)$$

Здесь $p = p_0 \exp(-E_T/kT)$ и $p_\partial = p_{\partial 0} \exp(-Q_T/kT)$ — вероятности теплового освобождения электронов и дырок с уровнем захвата; σ_p , $\sigma_{p\partial}$ и σ_3 , $\sigma_{3\partial}$ — эффективные сечения рекомбинации и захвата для электронов и дырок; N и N_∂ — число электронных и дырочных уровней захвата.

Процесс релаксации определяется меньшей из величин E_T и Q_T . В дальнейшем для простоты будем считать, что $E_T < Q_T$ и $p \gg p_\partial$.

При исследовании неізотермических релаксационных процессов для измерения κ и I_λ на кристалл необходимо направлять световой поток B , соответствующий полосе поглощения изучаемых центров захвата. В этих условиях

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{(p + \alpha B)\sigma_p n^2}{\sigma_p n + \sigma_3(N-n)}. \quad (2)$$

При исследовании методом термического высвечивания принимается $B = 0$. Условием применения метода термического обесцвечивания служит неравенство $p \gg \alpha B$. При измерении термооптического высвечивания световой поток следует включать лишь на малые промежутки времени, чтобы число оптически освобожденных электронов было значительно меньше числа электронов, освобожденных тепловым движением.

Если эти условия соблюдены, то (см. также (32))

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{p\sigma_p n^2}{\sigma_p n + \sigma_3(N-n)}. \quad (3)$$

Так как $\kappa = An$, причем A с повышением температуры изменяется мало ($A \sim T^{-0.5}$), то соотношение (3) определяет ход кривой термического обесцвечивания. Яркости термолюминесценции I и термооптического высвечивания I_λ определяются соотношениями

$$I = \frac{p\sigma_p n^2}{\sigma_p n + \sigma_3(N-n)} \quad (4)$$

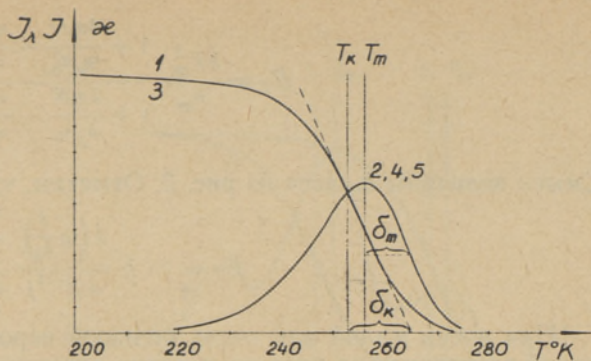
и

$$I_\lambda = \frac{\alpha B \sigma_p n^2}{\sigma_p n + \sigma_3(N-n)}. \quad (5)$$

Теоретические зависимости $\kappa(T)$, $I(T)$ и $I_\lambda(T)$ при нагреве фосфора с постоянной скоростью β_0 рассмотрены нами в работах (2, 3, 7). На рис. 2 приводим эти зависимости для случая малой вероятности повторных локализаций электронов на уровнях захвата. Как видно из рис. 2, $\kappa(T)$ и

$I_\lambda(T)$ совпадают. $I \sim -\frac{d\kappa}{dT} \sim -\frac{dI_\lambda}{dT}$.

Рис. 2. Теоретические кривые неизотермической релаксации. Случай малой вероятности повторных захватов. $E_T = 0,60$ eV, $\rho_0 = 10^{10}$ сек $^{-1}$, $\beta_0 = 0,15^\circ/\text{сек}$, 1 — $\kappa(T)$, 2 — $I(T)$, 3 — $I_\lambda(T)$, 4 — $\kappa'(T)$, 5 — $I'_\lambda(T)$.



Форма кривых $\kappa(T)$, $I(T)$ и $I_\lambda(T)$ не зависит от начального числа запасенных электронов n_0 . На рис. 3 приводим те же зависимости для случая большой вероятности повторных захватов. В этих условиях $\kappa(T)$ и $I_\lambda(T)$ не совпадают; $\kappa \sim \sqrt{I_\lambda}$, $I \sim -\frac{d\kappa}{dT} \sim -\frac{d\sqrt{I_\lambda}}{dT}$. Форма кривых релаксации существенно зависит от n_0 .

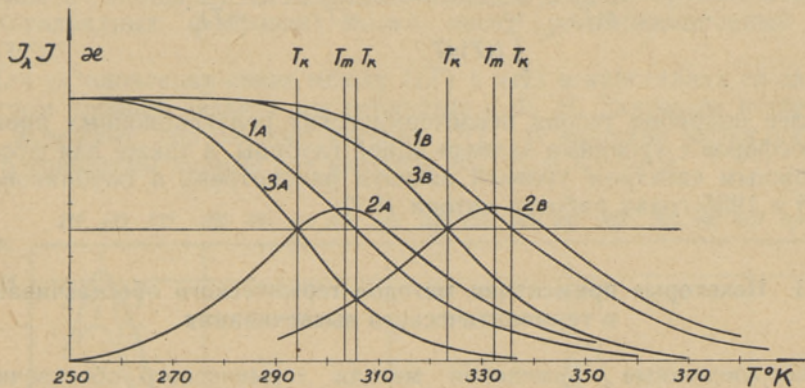


Рис. 3. Теоретические кривые неизотермической релаксации. Случай большой вероятности повторных захватов. $E_T = 0,60$ eV, $\rho_0 = 10^{10}$ сек $^{-1}$, $\beta_0 = 0,15^\circ/\text{сек}$. A — $\sigma_p n_0 / \sigma_3 N = 10^{-2}$; B — $\sigma_p n_0 / \sigma_3 N = 10^{-3}$. 1 — $\kappa(T)$; 2 — $I(T)$; 3 — $I_\lambda(T)$.

Если выполняется соотношение (3), то

$$\left(1 - \frac{\sigma_3}{\sigma_p}\right) \ln \frac{n_0}{n} + \frac{\sigma_3}{\sigma_p} N \left(\frac{1}{n_0} - \frac{1}{n}\right) = -\frac{\rho_0}{\beta_0} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E_T}{kT}\right) dT. \quad (6)$$

При этом температура T_k , для которой $n_k = 0,5n_0$, простым образом связана с величиной E_T , для удобства называемая нами энергией тепловой ионизации центров захвата, (2, 9).

$$E_T = kT_k \ln \left[\frac{\rho_0}{\beta_0} \delta_k \left(1 + \frac{2\sigma_3 N}{\sigma_p n_0} - \frac{\sigma_3}{\sigma_p}\right)^{-1} \right]. \quad (7)$$

Смысл величины δ_k ясен из рис. 2. Температура T_k лишь на несколько градусов отличается от температуры T_m , соответствующей максимуму при зависимостях $I(T)$ и $\kappa'(T)$. Легко показать (сравни с (14)), что

$$E_T = \frac{kT_m^2}{\delta_m} \frac{1 + \frac{4\sigma_3 N}{\sigma_p n_0} - \frac{\sigma_3}{\sigma_p}}{1 + \frac{2\sigma_3 N}{\sigma_p n_0} - \frac{\sigma_3}{\sigma_p}} \quad (8)$$

Смысл величины δ_m ясен из рис. 2. Отметим, что в общем случае (3)

$$E_T = -k \frac{d \left(\ln \frac{I}{I_\lambda} \right)}{d(T^{-1})} \quad (9)$$

При очень малой или очень большой вероятности повторных локализаций электронов на уровнях захвата соотношения (7) и (8) существенно упрощаются. Интересно, что в этих условиях (15, 16)

$$\ln \frac{I}{n} = A - \frac{E_T}{kT} \quad \text{или} \quad \ln \frac{I}{n^2} = A' - \frac{E_T}{kT} \quad (10)$$

При отсутствии искажающих побочных явлений

$$\frac{I(T)}{n(T)} \sim \frac{I(T)}{\int_T^\infty I(T) dT} \sim \frac{-\frac{d\kappa(T)}{dT}}{\kappa(T)} \sim \frac{I(T)}{\kappa(T)} \quad (11)$$

Более подробно теория неизотермических релаксационных процессов для фосфоров с уровнями захвата одной глубины, а также для фосфоров со сложным спектром уровней захвата рассмотрена в опубликованных в 1955 и 1956 годах работах автора (2, 3).

§ 3. Некоторые применения методов термического обесцвечивания и термооптического высвечивания

Многочисленные применения метода термического обесцвечивания подробно изложены в ряде работ (2, 3, 7, 8, 9, 12, 13). Результаты, полученные методом термооптического высвечивания, описаны также в работах (12, 13, 27). Ниже коротко излагаются некоторые из этих применений.

Связь между полосами «возбужденного поглощения» и пиками термического высвечивания

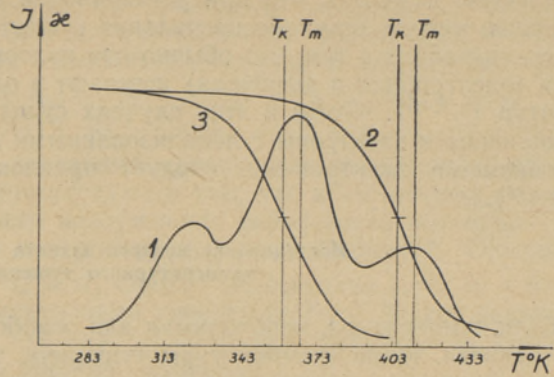
Для большинства фосфоров связь между полосами «возбужденного поглощения» и пиками термовысвечивания не установлена. Ее можно легко найти путем сравнения зависимостей $I(T)$ и $\kappa(T)$ или $I(T)$ и $I_\lambda(T)$.

В качестве примера на рис. 4 приведены кривые $I(T)$ и $\kappa(T)$ для F- и Z₁-полос в KCl · CaCl₂ · TiCl (8)*.

Отметим, что в этом фосфоре при освобождении электронов с центров захвата, обусловленных ионами Ca⁺⁺ и пустыми анионными узлами, све-

* Поглощение исследовалось на фотоэлектрических спектрофотометрах СФ-4 и СФ-2М. Термическое высвечивание регистрировалось с помощью электронного умножителя и самопишущего потенциометра ЭПП-09. Термическое обесцвечивание измерялось на спектрофотометрах СФ-2М и СФ-4. Во всех опытах скорость нагрева $\beta_0 = 0,15$ град/сек.

Рис. 4. 1 — Термическое высвечивание $KCl \cdot CaCl_2$ (0,5 м%) · $TlCl$ (0,01 м%). 2 — Термическое обесцвечивание KCl в F -полосе (555 $m\mu$) (после прогрева до 370°). 3 — Термическое обесцвечивание $KCl \cdot CaCl_2$ (0,5 м%) в Z_1 -полосе (590 $m\mu$).



чение характерно для ионов Tl^+ , что с несомненностью свидетельствует против метастабильной теории фосфоресценции, развиваемой в ряде работ (17-22)*.

Как показано нами, а также Л. Уйбо и И. Яэком, длительное послесвечение в галоидных соединениях металлов второй группы и в аммонийно-галоидных фосфорах также носит рекомбинационный характер (2, 8).

Для установления связи между $I(T)$ и $\kappa(\lambda)$ в кристаллах со сложным спектром уровней захвата мы совместно с Ф. Н. Зайтовым исследовали $\kappa(T)$ в режиме импульсного нагрева (13). В качестве иллюстрации на рис. 5 приведены данные для фосфора $KCl \cdot CaCl_2 \cdot AgCl$.

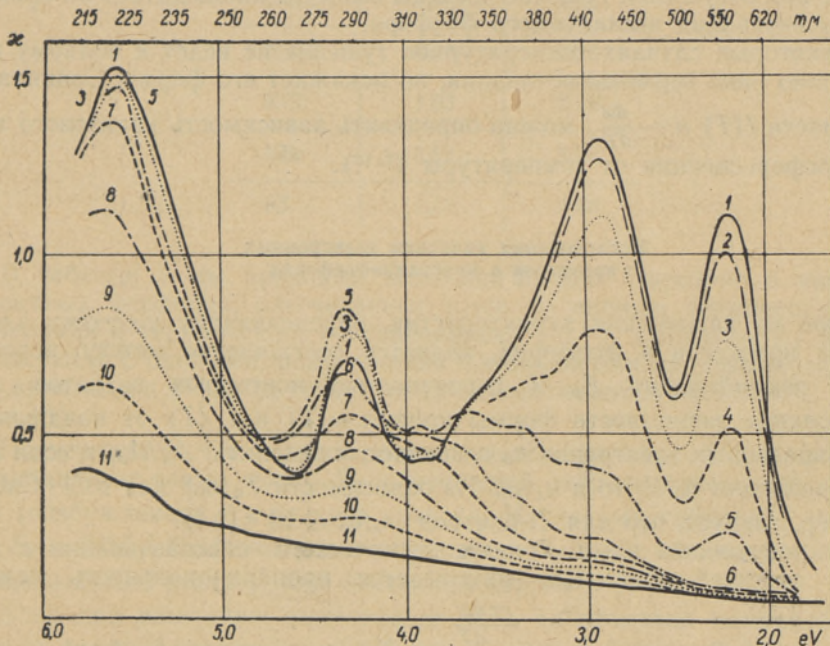


Рис. 5. Термическое обесцвечивание $KCl \cdot CaCl_2$ (0,5 м%) · $AgCl$ (0,3 м%); $\beta_0 = 0,15/\text{сек}$; $T_0 = 290^\circ K$; $T_i (^\circ K)$: 1 — 290; 2 — 345; 3 — 365; 4 — 378; 5 — 390; 6 — 400; 7 — 412; 8 — 435; 9 — 455; 10 — 475; 11 — 515.

* Аналогичный результат получен нами для фосфора $NaCl \cdot CaCl_2 \cdot AgCl$ (13).

Следует отметить, что при установлении связи между $I(T)$ и $\kappa(\lambda)$ с помощью метода термообесцвечивания существует некоторая неоднозначность, связанная с тем, что обычно две полосы «возбужденного поглощения» (электронная и дырочная) исчезают в одной и той же области температур (2, 7, 13). Чтобы в этих случаях судить, рекомбинируют ли освобождающиеся электроны с локализованными дырками или дырки с локализованными электронами, следует привлекать дополнительные данные (13).

Исследование центров захвата в области температурного тушения

Если температура, необходимая для освобождения электронов с уровней захвата, выше «температуры тушения», то по данным термического высвечивания мы получаем весьма искаженные сведения о спектре уровней захвата (23, 24)*.

Метод термического обесцвечивания, а также термооптического высвечивания в режиме импульсного нагрева позволяют исследовать тепловые характеристики центров захвата даже при наличии сильного внутреннего температурного тушения.

На кривой $I(T)$ для $\text{NaCl} \cdot \text{AgCl}$, например, отсутствует пик с $T_m = 530^\circ \text{K}$. Между тем активаторная полоса «возбужденного поглощения» с максимумом при $315 \text{ m}\mu$ имеет резкий спад в этой области. В той же области температур лежит спад зависимости $I_\lambda(T)$ для возбуждаемой в полосе $315 \text{ m}\mu$ флуоресценции ($\lambda_m \cong 540 \text{ m}\mu$) (12).

Дифференцируя зависимости $\kappa(T)$ и $I_\lambda(T)$, мы получим максимумы, которые при отсутствии тушения должны были бы наблюдаться на кривой термовысвечивания исследуемого фосфора.

В некоторых случаях температурное тушение не ведет к полному исчезновению пика термовысвечивания, но искажает его форму. Сравнивая зависимости $I(T)$ и $-\frac{d\kappa}{dT}$, можно определить зависимость квантового выхода флуоресценции от температуры (7, 13).

Исследования кинетики электронных процессов в кристаллофосфорах

Одной из важнейших характеристик, определяющих кинетику электронных процессов в фосфорах, является соотношение между вероятностью рекомбинации A_p и вероятностью повторных захватов A_s . Исследование зависимости формы кривых $\kappa(T)$ и $I_\lambda(T)$ от начального числа запасенных электронов n_0 позволяет определить A_s/A_p , а если известна величина n_0/N , то и σ_s/σ_p . Из зависимости $T_k(n_0)$ для $\text{KCl} \cdot \text{CaCl}_2$, например, следует, что для Z_1 -центров $\sigma_s/\sigma_p \leq 10^{-2}$ (2, 9).

Для полученных нами кривых термического обесцвечивания с довольно хорошей точностью соблюдается пропорциональность между

$\ln \frac{dx}{dT}$ и T^{-1} . Зависимость $\ln \frac{dx}{x^2}$ от T^{-1} не является линейной.

* Булл и Мэзон предложили метод, позволяющий в некоторых случаях избежать влияния температурного тушения (25). Позднее было показано, что используемый ими режим нагрева выбран неудачно (3). Метод Булла и Мэзона с новым режимом нагрева был применен К. К. Ребане (27).

Обычно в области температур, где происходит исчезновение одной из полос «возбужденного поглощения», другая полоса несколько возрастает. При этом сравнение кривых термообесцвечивания позволяет непосредственно определить величину A_z/A_p (2, 12, 13). В исследованных нами случаях (для фосфоров NaCl·AgCl, KCl·CaCl₂·AgCl и т. д.) $A_z/A_p \cong 0,1$.

Все эти опыты, а также детальный анализ данных термического высвечивания (2, 16, 28, 29), свидетельствуют о том, что в щелочно-галогидных фосфорах в условиях сильного возбуждения вероятность повторных захватов мала по сравнению с вероятностью рекомбинации*. Причиной такого соотношения между A_z и A_p служит неравенство $\sigma_z \ll \sigma_p$ и близкое к полному заполнение электронами уровней захвата. Малая величина σ_z связана, вероятно, с тем, что для локализации электрона на центрах захвата требуется некоторая энергия активации (31–33).

Определение энергий тепловой ионизации центров захвата

Как было показано в § 2, положение резкого спада зависимостей $\kappa(T)$ и $I_\lambda(T)$ определяется величиной энергии тепловой ионизации электронных или дырочных центров захвата. Величины E_T и Q_T могут быть рассчитаны по соотношениям (7–10).

Таблица 1

	E_T^F (eV)	E_λ^F (eV)
NaCl	1,03	2,65
NaBr	0,78	2,29
KCl	1,03	2,19
KBr	0,82	1,96
KI	0,65	1,80

В таблице 1 мы приводим величины E_T для F -центров в щелочно-галогидных фосфорах, рассчитанные нами по данным термического высвечивания и термического обесцвечивания (13, 34). Величины E_T хорошо согласуются с данными, полученными Смакулой для аддитивно окрашенных кристаллов (35), и не согласуются с теоретическим расчетом С. И. Пекара (36).

Подчеркиваем, что метод термического обесцвечивания автоматически устанавливает связь между E_T и величиной энергии оптической ионизации (возбуждения) E_λ центров захвата. Из данных таблицы 1 следует, что $E_T \cong 0,5E_\lambda$. Причины резкого различия E_T и E_λ обсуждены в одной из предыдущих работ автора настоящей статьи (34).

Если при измерении зависимости $\kappa(T)$ на кристалл направлять настолько сильный световой поток, что $\rho \ll aB$ (см. § 2), то по зависимости T_k от величины B может быть определена энергия тепловой ионизации в возбужденных центрах захвата E_T^* .

* В режиме слабого возбуждения в щелочно-галогидных фосфорах $A_z \cong A_p$ (30).

Легко показать ⁽¹²⁾, что в этих условиях

$$T_k^{-1} \cong \frac{k}{E_T^*} \ln B + A \quad (12)$$

Приведенный в настоящем сообщении материал свидетельствует о том, что изучение неизотермических релаксационных процессов позволяет успешно исследовать тепловые характеристики центров захвата, кинетику электронных и дырочных процессов и механизм люминесценции кристаллофосфоров.

Метод термического обесцвечивания и метод термооптического высвечивания в режиме равномерного и импульсного нагрева могут найти и уже нашли ⁽²⁷⁾ применение для исследования не только щелочно-галогидных фосфоров, но и фосфоров других классов.

В заключение приношу глубокую благодарность Ф. Н. Зайтову, К. К. Ребане и Л. А. Тейсс за участие в разработке описанных выше методов исследования центров захвата, а также проф. Ф. Д. Клементу за внимание и интерес к работе.

*Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
22 XII 1955

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Толстой, П. П. Феофилов, УФН, **41**, № 1, 44, 1950.
2. Ч. Б. Лушик, Труды Института физики и астрономии АН ЭССР, № 3, 1955.
3. Ч. Б. Лушик, Труды Института физики и астрономии АН ЭССР, № 4, 1956.
4. F. Urbach, Wien. Ber., **11a**, 139, 353, 1930.
5. R. Herman, R. Hofstrader, Phys. Rev., **57**, 936, 1940.
6. G. Garlick, Luminescent Materials, Oxford, 1949.
7. Ч. Б. Лушик, ЖЭТФ, **30**, 488, 1956.
8. Ч. Б. Лушик, Труды Института физики и астрономии АН ЭССР, № 1, 1955.
9. Ч. Б. Лушик, Изв. АН ЭССР, **4**, № 2, 217, 1955.
10. C. Delbecq, P. Pingsheim, P. Yuster, Zschr. f. Phys. **138**, 266, 1954.
11. A. Halperin, A. Braner, Phys. Rev., **98**, 1135, 1955.
12. Ч. Б. Лушик, Ф. Н. Зайтов, Х. А. Мяги, К. К. Элькен, ЖЭТФ, **30**, 403, 1956.
13. Ч. Б. Лушик, Ф. Н. Зайтов, Труды Института физики и астрономии АН ЭССР, № 4, 1956.
14. F. Urbach, Preparation and Characteristics of Solid Luminescent Materials, Symposium, 1948.
15. В. В. Антонов-Романовский, Изв. АН СССР, Серия физич., **10**, 477, 1946.
16. Ч. Б. Лушик, ДАН СССР, **101**, 641, 1955.
17. F. Seitz, Journ. Chem. Phys., **L**, 130, 1938.
18. J. Ewles, Proc. Roy. Soc., **A 167**, 34, 1938.
19. J. Randall, M. Wilkins, Proc. Roy. Soc., **A 184**, 366, 1945.
20. F. Williams, H. Eyring, Journ. Chem. Phys. **15**, 289, 1947.
21. M. Lord, M. Wise, A. Rees, Proc. Phys., Soc., **58**, 473, 1947.
22. F. Williams, P. Johnson, Journ. Chem. Phys., **21**, 125, 1953.
23. M. Schön, Naturwiss., **38**, 235, 1951.
24. И. А. Парфианович, ЖЭТФ, **21**, № 2, 1951.
25. C. Bull, D. Mason, JOSA, **41**, 718, 1951.
26. В. В. Антонов-Романовский, Г. С. Кочергин, ДАН СССР, **24**, 430, 1939.
27. К. К. Ребане, Труды Института физики и астрономии АН ЭССР, № 4, 1956.
28. Ч. Б. Лушик, Диссертация, Ленинградский университет, 1954.
29. Ч. Б. Лушик, Изв. АН СССР, Серия физич., **18**, 687, 1954.
30. И. П. Щукин, Диссертация, Физический институт АН СССР, 1955.
31. Д. И. Блохинцев, Изв. АН СССР, **9**, 391, 1945.
32. Э. И. Адирович, Некоторые вопросы теории люминесценции кристаллов, ГИТТЛ, 1951.
33. И. А. Парфианович, Изв. АН СССР, **15**, 669, 1951.
34. Ч. Б. Лушик, ДАН СССР, **101**, 843, 1955.
35. A. Smacala, Gött. Nachr., **1**, 55, 1934.
36. С. И. Пекар, Исследования по электронной теории кристаллов, ГИТТЛ, 1951.

MITTEISOTERMILISTE RELAKSATSIOONILISTE PROTSESSIDE UURIMINE KRISTALLFOSFOORIDES

TS. LUSTSIK,
füüsikalis-matemaatiliste teaduste kandidaat

Resümee

Töös on kirjeldatud relaksatsiooni protsesside uurimise uusi meetodeid, millede aluseks on mõõdetav haardetsentrite neeldumiskoefitsiendi või optilise sähvatusheleduse sõltuvus temperatuurist, kui ergutatud fosfoori ühtlaselt kuumutatakse või kui mõõtmisi teostatakse impulss-režiimi tingimustes.

On antud põhilised teoreetilised seosed eksperimentaalselt mõõdetavate suuruste ja fosfoori iseloomustavate elementaarsete suuruste vahel. Ka on esitatud mõningad termilise pleegitamise ning termo-optilise väljakiiritamise juhud nii luminesentsi mehhanismi ja kineetika kui ka fosfoori haardetsentrite uurimisel.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Füüsika ja Astronoomia Instituut*

Saabus toimetusse
22. XII 1955

NON-ISOTHERMAL RELAXATION PROCESSES IN PHOSPHORS

CH. LUSHCHIK

Summary

New methods of investigating relaxation processes are discussed, involving a measurement of the dependence of the absorption coefficient of trapping centres or photostimulation emission intensity on temperature when heating an excited phosphor at an even rate or under impulse conditions (Fig. 1).

The principal theoretical correlations between experimentally measured quantities and the elementary characteristics of phosphors are presented.

This article also deals with some applications of the thermal bleaching method and the thermo-optical stimulation method for the study of the mechanism and kinetics of luminescence and the investigation of trapping centres in phosphors.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Physics and Astronomy*

Received
Dec. 22, 1955