

УДК 548.4:539.1:535.343.2

## ИОННО-ДИФфуЗИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТУШЕНИЯ СВЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННО-НАВЕДЕННЫХ ЦЕНТРОВ В ЩГК

**Арапов Т.Б.**

*Ошский Государственный Университет, Ош, e-mail: arapov\_temir@mail.ru*

Установлено, что многостадийный характер тушения свечения радиационно-наведенных центров и изменение соотношений между ними происходит действием различных типов подвижных дефектов и их соотношениями. Различные типы подвижных дефектов приводит к тушению свечения одного и того же центров свечения в различных температурных интервалах с различной эффективностью.

**Ключевые слова:** тушения свечения, кристаллы, центры окраски, подвижные дефекты, температурные интервалы

## ION-DIFFUSION MECHANISM OF QUENCHING OF THE EMISSION OF RADIATION-INDUCED CENTERS IN AHC

**Arapov T.B.**

*Osh State University, Osh, e-mail: arapov\_temir@mail.ru*

It was found that the multi-stage nature of the extinguish the glow of radiation-induced centers and change the relations between them in the influence of various types of mobile defects and their relations. Various types of mobile defects leads to extinguish the glow of the same luminescence centers in different temperature ranges with varying efficiency.

**Keywords:** extinguish luminescence, crystals, color centers, mobile defects, temperature ranges

Многие люминесцентные, оптические и другие свойства твердых тел связаны с процессами перемещения в кристалле подвижных дефектов кристаллической решетки, в частности, электронов, дырок и ионных дефектов. Эти процессы также играют определенную роль в тушении люминесценции твердых тел.

Изучение процесса тушения люминесценции кристаллофосфоров является одним из важнейших средств выяснения механизма трансформации поглощенной энергии в твердом теле.

Проблема тушения люминесценции кристаллофосфоров является одной из трудных проблем физики твердого тела, которая до настоящего времени считается не решенной. Вместе с тем ее решение настоятельно диктуется практической значимостью этой проблемы. Создание люминофоров с высоким энергетическим и квантовым выходом свечения и поддержание этого высокого выхода на постоянном уровне независимо от меняющихся внешних условиях является одной из важнейших практических задач в области люминесценции кристаллофосфоров [1, 2]. Несмотря на немалое число исследований, многие вопросы связанные с механизмом и кинетикой тушения свечения центров окраски, выявлено еще далеко недостаточно.

Установление механизма и кинетики тушения свечения радиационно-наведенных центров является одной из актуальных за-

дач физики кристаллов, имеющей важное теоретическое и прикладное значение.

Основной целью данной работы является определение роли радиационно-ионных процессов температурного тушения свечения центров в ЩГК, в области температур выше 300К.

### Экспериментальные результаты. Тушение свечения В-, С- и Д-центров в кристаллах NaCl-Ag

Для исследования тушения свечения радиационно-наведенных активаторных центров были использована кристаллы NaCl и KCl, активированные ионами  $Ag^+$ , выращенные из расплава методом Киропулоса.

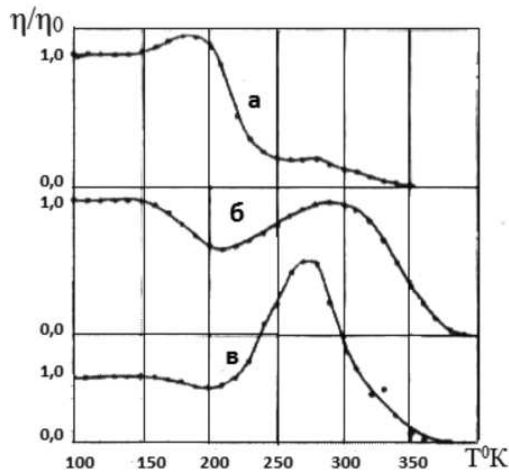
Для определения температурной зависимости относительного квантового выхода свечения фотовозбужденных центров нами была разработана специальная методика, в котором учитывается изменения доли поглощения возбуждающего светового потока в процессе нагрева кристалла.

Нами [3, 4] было исследовано фото- и термостимулированной люминесценции температурное тушение свечения наведенных активаторных В-, С- и Д-центров окраски в NaCl-Ag. В данной работе рассмотрено механизмы тушения свечения радиационно-наведенных дефектов на основе ионно-диффузионной теории. На рисунке приведены температурные зависимости относительного квантового выхода свечения

центров окраски в NaCl-Ag (0,25 моль %). Видно, что для всех типов центров окраски в исследованном температурном интервале наблюдаются две стадии тушения внутри-центрового свечения.

Таким образом, в исследованиях В-, С- и Д- центров окраски, тушение имеет место. Каков же возможный механизм этого тушения?

Нами изучено, насколько реализуется механизм Мотта для тушения свечения наведенных активаторных В-, С- и Д-центров окраски.



Температурная зависимость относительного выхода свечения В-центров (кр.а), С-центров (кр.б) и Д-центров (кр.в) в кристалла NaCl-Ag (0,25 моль %)

Для определения механизма тушения, представляет интерес, сравнить энергии активации тушения по формуле Мотта с энергиями, определенными по спектрам поглощения и излучения соответствующих центров. Результаты такого сопоставления, полученные путем обработки приведенные выше кривых, показало что значение энергии активации тушения, определенные по спектрам поглощения и излучения для исследуемых центров окраски, не совпадают ни с одним значением энергии активации тушения, определенным по кривой температурной зависимости квантового выхода [4].

Таким образом, несмотря на формальное выполнение формулы Мотта, величина энергии активации тушения  $\varepsilon_T$  и предэкспоненциального множителя  $C$  не принимают значения, соответствующие механизму тушения по Мотту. Это свидетельствует о том, что температурное тушение свечения центров осуществляется не по механизму Мотта.

#### Ионно-диффузионная кинетика тушения свечения центров окраски в ЩГК

Нами [5, 6] предложена ионно-диффузионная теория активации процесса тушения свечения центров, учитывающая, особенности тушения свечения центров в ЩГК.

При таком представлении механизм тушения описывается на основе теории диффузионно-контролируемых реакций.

Для более простого случая, когда учитывается только диффузионный перенос и рекомбинация ионных пар получена формула, описывающая квантовый выход свечения:

$$\eta = \eta_0 \left[ 1 + 4\pi r_0 \beta^{-1} \tau_0^* D_0 N \exp\left(-\frac{(Q_g - Q_c^*)}{kT}\right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где  $\tau_0^* = 1/P_0^*$  – частотный фактор,  $Q_c^*$  – энергия активации взаимодействия возбужденных центров свечения с подвижными дефектами кристаллической решетки.

В формуле (1) квантовый выход, в отличие от формулы Мотта, определяется концентрацией подвижных микродефектов, суммарной энергией, состоящей из суммы энергии активации при прыжковой диффузии  $Q_g$  и энергии взаимодействия подвижных дефектов с возбужденными центрами свечения  $Q_c^*$ . Поэтому эта энергия может принимать различные значения. В зависимости от соотношения между начальными концентрациями подвижных дефектов ( $N$ ) и концентрациями фотовозбужденных центров ( $n$ ) уравнение (1) имеет решение, описывающее кинетику первого и второго порядка.

а. При условии  $n_0 = N_0$ ;  $n = n_0 - (N_0 - N)$  тушения свечения центров происходит по закону

реакции второго порядка, на основании теории диффузионно-контролируемых реакций.

б. Если  $N_0 \gg n_0$  или  $N \gg n$ , т.е. концентрация подвижных некоррелированных пар дефектов достаточно много. В этом случае можно предположит, что  $N = N_0 = const$ , т.е. концентрация подвижных дефектов в ходе релаксации почти не изменяется.

Решение уравнение дает квазиномолекулярную кинетику процесса тушения свечения центров по закону кинетики первого порядка.

Но полученные теоретические кривые тушения одностадийные, а в эксперименте во многих случаях температурные тушения свечения центров происходят в двух и более стадиях.

Нами на основе ионно-диффузионной теории рекомбинации получены многостадийные кривые температурного тушения

свечения центров, происходящих по бимолекулярной кинетике.

Для получения многостадийных кривых температурного тушения свечения необходимо сначала остановить процесс тушения

на определенной стадии. Затем необходимо заставить начать тушение свечения на следующей стадии.

Кинетическое уравнение для такого процесса будет:

$$\eta / \eta_0 = \left[ 1 + \frac{4\pi r_0}{\beta} \tau_0^* D_0 \Delta m \left( \frac{n}{\Delta m} + 1 \right) \cdot \exp(-Q_g - Q_c^* / kT) \right]. \quad (2)$$

Здесь величина  $\Delta m \left( \frac{n}{\Delta m} + 1 \right)$  характеризует число подвижных дефектов,  $\Delta m = N_0 - n_0 = N - n = const$  – есть избыток концентрации подвижных дефектов над концентрацией центров.

Формула (2) так же учитывает влияние изменения микроструктуры кристаллической решетки на характер температурного тушения свечения центров окраски в ЦГК.

Рассмотрим некоторые случаи:

1. Если  $\Delta m > 0$  ( $N_0 \gg n_0$  или  $N \gg n^*$ ), т.е. концентрация подвижных дефектов  $N$  больше, чем концентрация фотовозбужденных центров окраски  $n^*$ , тогда

$$-\frac{n_0}{\Delta m} = \frac{n_0}{N_0} = \frac{n^*}{N} \ll 1.$$

Процесс тушения свечения центров окраски происходит по реакции первого порядка, т.е. по мономолекулярной кинетике.

2. Если  $\Delta m = 0$  ( $N_0 = n_0$  или  $N = n^*$ ), т.е. концентрация фотовозбужденных центров окраски  $n$  и подвижных дефектов  $N$  равны. В этом случае процесс температурного тушения свечения центров происходит по квазиномолекулярной кинетике.

3. Рассмотрим случай, когда  $\Delta m < 0$  или,  $N < n^*$ , т.е. концентрация подвижных дефектов  $N$  мала по сравнению с концентрацией фотовозбужденных центров окраски  $n$ . В этом случае процесс температурного тушения свечения фотовозбужденных центров окраски происходит в нескольких стадиях.

В случае  $\Delta m = -\Delta n_0$  (где  $\Delta n_0$  – концентрация фотовозбужденных центров окраски, в котором тушение свечения происходит на первой стадии) из кинетического уравнения (2) в случае  $T \rightarrow \infty$ , получается;

$$\eta = \eta_0 \cdot \Delta \eta_{01} = const. \quad (3)$$

Теперь процесс тушения остановится после первой стадии полностью не завершенным, в связи с исчерпанием концентрации подвижных дефектов данного типа. Для начала следующей стадии тушения свечения центров окраски требуется другой сорт

подвижных дефектов, освобождающийся из другого сорта ловушек и взаимодействующих с данным типом фотовозбужденных центров окраски лишь при более высоких температурах. Этим и объясняется многостадийность процесса температурного тушения свечения фотовозбужденных центров окраски в ЦГК.

Таким образом, количественное описание различных особенностей кинетики тушения свечения центров в ЦГК можно провести, исходя из различных соотношений между начальными концентрациями фотовозбужденных центров и подвижных дефектов тушителей.

Двухстадийный характер температурной зависимости выхода свечения и изменение соотношения между низкотемпературной и высокотемпературной стадиями тушения при различных воздействиях на кристаллофосфоры объясняются действием двух типов подвижных дефектов. Причем, подвижные дефекты различных типов и могут приводить к тушению свечения центров окраски одного и того же типа в двух различных температурных интервалах с различной эффективностью.

#### Список литературы

1. Соболев Н.Б., Брюквин В.В., Парфианович И.А., Пензина Э.Э. Пассивная модуляция добротности оптических резонаторов с помощью кристаллов KCl // Оптика и спектроскопия. – 1984. – Т. 57, № 5. – С. 954–956.
2. Басиев Т.Т., Воронько Ю.К., Мирон С.Б., Осико В.В., Прохоров А.И. Твердотельные перестраиваемые лазеры на центрах окраски в ионных кристаллах // Изв. АН СССР, сер. физ. – 1982. – Т. 46, № 8. – С. 1600–1610.
3. Арапов Т.Б., Ташкулов К., Арапов Б., Фото- и термостимулированная люминесценция активаторных центров в NaCl-Ag // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – М., 2016. – № 4 (часть 5). – С. 891–893.
4. Арапов Б., Арапов Т.Б. Механизм и кинетика тушения свечения центров в ионных кристаллах. – Бишкек, Илим, 2007. – С. 160.
5. Арапов Б., Юнусов М., Арапов Т.Б. Особенности многостадийных процессов тушения свечения центров в ионных кристаллах // Доклады АН РУз. – Ташкент, 2002. – С. 17–18.
6. Арапов Т.Б. Механизм и кинетика тушения свечения радиационно наведенных центров окраски в ЦГК. Диссерт. на соис. ... канд. физ.-мат. наук. – Ош, 2004.