

УДК 548.03:535-34:[535.343.2+535.37]

©1994

## РЕНТГЕНО- И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В МЕХАНИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ KCl, KBr И KI

А.З.Бекешев, Е.А.Васильченко, Е.Т.Сармуханов,  
К.Ш.Шункеев, А.А.Эланго

Оптическими методами исследована рентгено- и фотолюминесценция в напряженных одноосном сжатием при 4.2 и 80 К щелочно-галогидных кристаллах. Обнаружено, что при напряжении при 4.2 К кристаллов KI в люминесценции, возникающей при фотовозбуждении ( $E = 6.05 \pm 0.06$  эВ), наблюдается перераспределение интенсивностей  $\pi$ - и  $E_{\chi}$ -полос свечения: в ненапряженном кристалле  $\pi/E_{\chi}$  отношение порядка 19%, а в напряженном — 170%. Это связывается с уменьшением вероятности автолокализации экситона в структуру слабого off-center и с увеличением вероятности релаксации в структуру сильного off-center. Интенсивность рентгенолюминесценции напряженных при 80 К KCl, KBr и KI почти на порядок выше таковой в недеформированных образцах. Это усиление обусловлено как усилением  $\pi$ - и  $\sigma$ -свечений автолокализованных экситонов, так и возникновением новых полос свечения (3.88 эВ в KCl и 3.55 эВ в KBr), которые отсутствуют в рентгенолюминесценции недеформированных образцов. Обсуждаются возможные причины наблюдаемых эффектов с учетом данных термостимулированной люминесценции рентгенизованных деформированных кристаллов.

Ранее [1-4] было показано, что в предварительно деформированных при 300 К щелочно-галогидных кристаллах (ШГК) излучательный и безызлучательный распады электронных возбуждений осуществляются во многом по-иному, чем в недеформированных образцах. Эти отличия в основном обусловлены тем, что после деформации в кристалле остается значительное количество дислокаций и вакансионных дефектов. Так, в [2,3] показано, что новые полосы излучения, наблюдающиеся в деформированных ШГК, обусловлены излучательным распадом галогенных возбуждений, локализованных около дивакансий и квартетов вакансий. Обнаружено также, что в безызлучательном распаде таких околывакансионных возбуждений существенную долю составляет диссоциация экситоноподобных возбуждений на электроны и дырки с созданием электронных центров и  $V_K$ -центров [4].

Принципиально другие возможности исследования процессов релаксации электронных возбуждений появляются тогда, когда аналогичные исследования осуществляются не в постдеформированном кристалле, а в образце, находящемся непосредственно под напряжением, созданным определенным механическим воздействием. В этом случае к рассмотренным выше эффектам, происходящим от введения деформационных дефектов, могут добавляться эффекты, обусловленные изменением параметров основной решетки.

В данной работе исследовалась фото-, рентгено- и термолюминесценция кристаллов KCl, KBr и KI, механически напряженных при 80 и 4.2 К. Для нагружения кристаллов мы использовали простой в экспериментальном отношении метод одноосного сжатия с последующим фиксированием напряжения путем механического закрепления сжатого образца. При применении этого метода нельзя, конечно, рассчитывать на получение только сжатия (как в методе гидростатического давления [5]) или только расширения (как при вытягивании тонких пленок ШГК из расплава [6]). В кристалле, подвергнутом одноосному сжатию по одному из направлений  $\langle 100 \rangle$  и выдерживаемом во время эксперимента под таким одноосным напряжением, наряду с областями сжатия возникают и области растяжения [7]. Симметрия кристаллов при этом понижается от  $O_h$  до  $D_{4h}$  [8]. При использованных нами низких температурах (80 и 4.2 К) деформация кристалла осуществляется только по  $\langle 110 \rangle$  плоскостям и  $\langle 110 \rangle$  направлениям [9]. Упругое состояние решетки кристалла, находящегося при этих температурах под напряжением по  $\langle 100 \rangle$ , состоит из преимущественно сжатия по направлениям  $\langle 100 \rangle$  и преимущественно растяжения по направлениям  $\langle 110 \rangle$ . Поскольку направления  $\langle 110 \rangle$  есть в ШГК направления анион-анион, а изменения в величине их межионного разделения весьма существенны во многих вопросах физики твердого тела, мы надеялись получить различия в протекании релаксационных процессов электронных возбуждений и при применении метода одноосного сжатия.

## 1. Методика эксперимента

Кристаллы KCl и KBr были выращены методом Стокбаргера из сырья, для очистки которого использовался комплексный метод обработки, разработанный в Институте физики (Тарту) [10,11], включающий в себя как заключительный этап очистки 50-кратную зонную плавку. Эти кристаллы очищались от большинства примесей до уровня  $10^{-6}$ – $10^{-8}$ . Были использованы кристаллы KI фирмы «Harshow» (рис. 2,3) и кристаллы, выращенные методом Киропулоса в атмосфере инертного газа (рис. 1,4). В последнем случае очистка состояла лишь из пробулькивания через расплав высушенной соли потока  $N_2$ , что не приводило к очистке от гомологических катионных примесей.

Выколотые образцы кристаллов деформировались путем одноосного сжатия по одному из направлений  $\langle 100 \rangle$  при 80 К непосредственно в азотном криостате. Для фиксации деформированного кристалла в напряженном состоянии криостат имел специальное устройство. Степень деформации кристалла определялась по углу поворота нажимного устройства, сообщающего поступательное движение нажимному штоку. X-облучение кристаллов осуществлялось с помощью рентгеновского аппарата РУП-120 (в режиме 120 кВ, 4 мА, W) для температурных областей исследования 80 К или рентгеновского аппарата АРОС (в режиме 45 кВ, 5 мА, W) для областей температур  $\geq 4.2$  К.

Термостимулированная люминесценция (ТСЛ) фиксировалась по интенсивности интегрального свечения при нагреве от 80 К со скоростью 12 К/мин. Нагрев от 4.2 К осуществлялся со скоростью 2.4 К/мин. В настоящей работе мы не имели возможности деформировать образцы при 4.2 К непосредственно в гелиевом иммерсионном

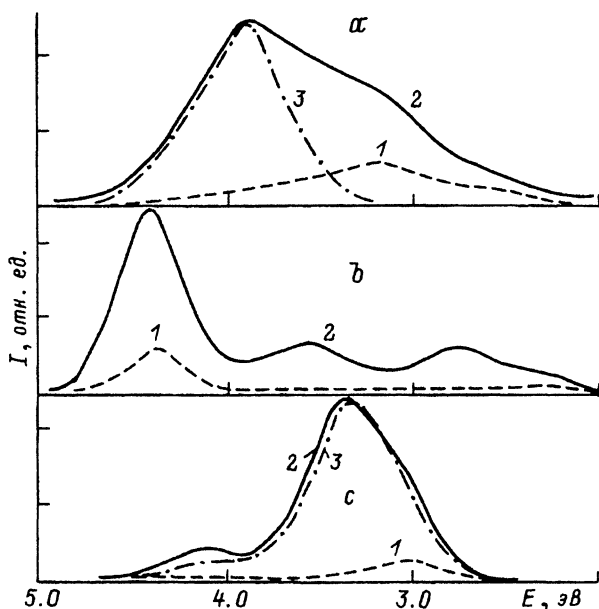


Рис. 1. Спектры рентгенолюминесценции при 80 К (1,2) и туннельной люминесценции, возникающей при 80 К после прекращения X-облучения (3) кристаллов KCl (а), KBr (б) и KI (в).

1 — недеформированные кристаллы; 2 — кристаллы, деформированные при 80 К сжатием до 2–4% и оставленные при 80 К под напряжением.

криостате. Поэтому кристаллы предварительно деформировались при 300 К, а затем в напряженном состоянии вместе с зажимным устройством охлаждались до 4.2 К.

Спектры рентгенолюминесценции кристаллов KCl, KBr и KI регистрировались при 80 К с помощью монохроматора МСД и ФЭУ-106. Эти спектры не исправлены на пропускание монохроматора и фоточувствительность ФЭУ. Спектры фотолюминесценции кристаллов KI, помещенных в гелиевый криостат, регистрировались через монохроматор МДР-2, работавший в режиме счета фотонов ФЭУ-106. В спектры свечения внесены необходимые поправки. Фотовозбуждение кристаллов осуществлялось дейтериевой лампой ЛД(Л) через монохроматор ВМР-2.

## 2. Экспериментальные результаты

Спектры рентгенолюминесценции напряженных при 80 К кристаллов NCl, KBr и KI приведены на рис. 1. Можно выделить несколько экспериментальных закономерностей.

Во-первых, интегральная интенсивность свечения напряженных образцов (кривые 2) значительно выше интенсивности свечения недеформированных образцов (кривые 1). В кристаллах KBr и KI, в которых собственное свечение ( $\pi$ - и  $\sigma$ -полосы излучения автолокализованных экситонов) при 80 К частично потушено [12], но вполне еще измеримо, суммарное свечение усиливается более чем на порядок. В

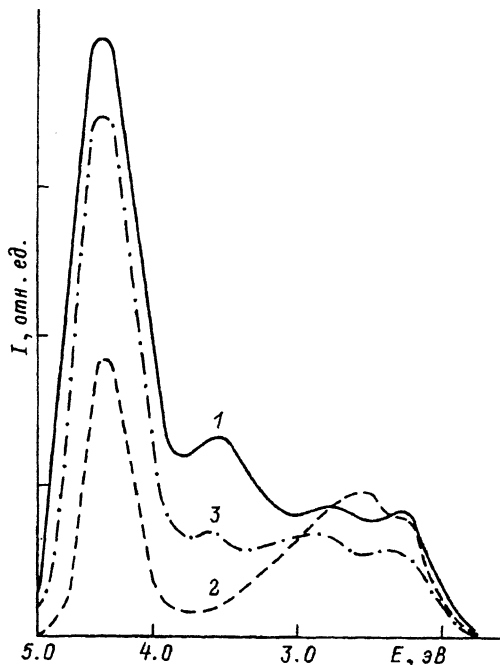


Рис. 2. Спектры рентгенолюминесценции при 80 К деформированного кристалла КВг.

1 — кристалл деформирован при 80 К сжатием до 1% и оставлен при 80 К под напряжением, 2 — сразу после сжатия при 80 К указанного напряжения, 3 — кристалл повторно напряжен при 80 К.

КСl, в котором собственное  $\pi$ -свечение к 80 К практически потушено [12], это возрастание несколько меньше, но все-таки достигает  $\sim 5$  раз.

Во-вторых, усиление рентгенолюминесценции в напряженных образцах КСl (рис. 1, а) происходит в основном за счет возникновения новой полосы свечения с максимумом около 3.88 эВ и полушириной около 0.6 эВ. Наиболее в чистом виде эта полоса проявляется в спектре фосфоресценции напряженного кристалла (кривая 3а), в котором она преобладает. В напряженных кристаллах КВг и КI (рис. 1, б, с) значителен эффект возрастания собственных  $\sigma$ - и  $\pi$ -свечений. В КВг к этому добавляется еще и создание в напряженном образце новой полосы свечения с максимумом около 3.55 эВ и полушириной 0.6 эВ.

В-третьих, если напряженный кристалл освободить (также при 80 К) от механического сжатия, то интегральная интенсивность рентгенолюминесценции сразу уменьшается. Это происходит за счет исчезновения полос излучения 3.88 и 3.55 эВ в КСl и КВг, а также уменьшения интенсивностей  $\sigma$ - и  $\pi$ -полос. Однако отпущенные кристаллы не возвращаются полностью к недеформированному состоянию; остаточное свечение наблюдается в области свечений простейших вакансионных дефектов, что и характерно для постдеформированного состояния кристаллов [3]. Отмеченное явление демонстрируется на рис. 2 на примере кристалла КВг.

Первые качественные исследования напряженных при 4.2 К кристаллов КI продемонстрировали существенные изменения в спектрах фотolumинесценции. На рис. 3 приведены спектры фотolumинесценции КI, возбуждаемой светом  $6.05 \pm 0.06$  эВ, соответствующим прямому оптическому созданию экситонов, в недеформированном (а) и напряженных одноосным сжатием до различных степеней сжатия (б)

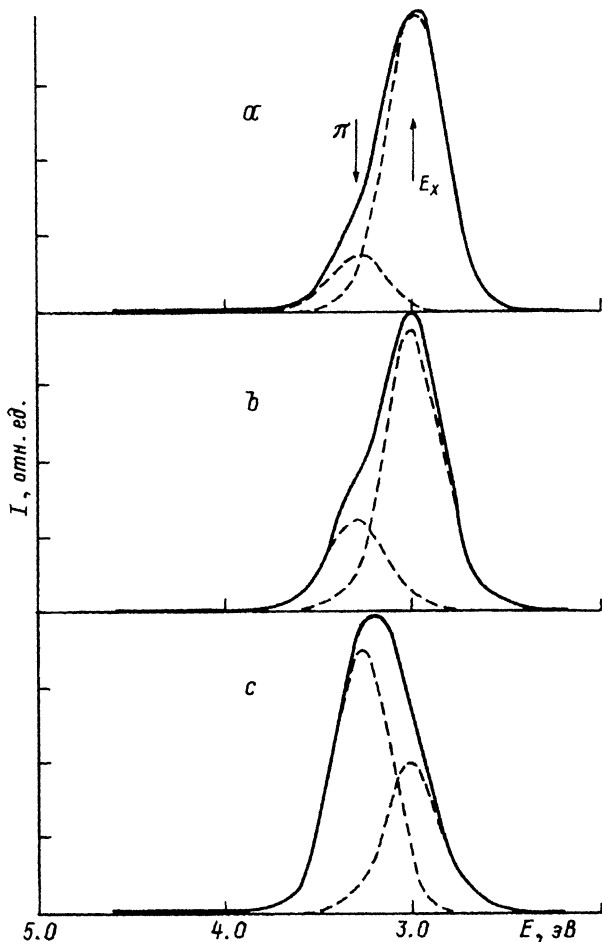


Рис. 3. Спектры люминесценции кристалла KI, возбуждаемой при 4.2 К светом с энергией фотонов  $E = 6.05 \pm 0.06$  эВ.

Приведено разложение спектров на  $\pi$ - и  $E_X$ -полосы свечения, а — недеформированный кристалл; b и c — кристаллы, напряженные при 300 К в нарастающей от b и c степени сжатия и впоследствии охлажденные до 4.2 К с сохранением напряженного состояния.

и c) образцах. При использованном нами возбуждении фотолюминесценция недеформированного KI состоит при 4.2 К из двух полос:  $\pi$ -свечения (3.31 эВ) и так называемого  $E_X$ -свечения (3.0 эВ) [12–14]. Как видно из рис. 3, в зависимости от степени сжатия происходит изменение соотношения интенсивностей  $\pi$  и  $E_X$ -свечений. Если для недеформированного кристалла (a) доля  $\pi$ -свечения по отношению к  $E_X$ -свечению составляет около 19%, то в слабо напряженном образце (b) имеем значение 32%, а в сильно напряженном образце (c) наблюдается перераспределение интенсивностей, т.е. соотношение  $\pi/E_X$  оказалось равным 170%.<sup>1</sup> В области  $\sigma$ -полосы изменения интенсивности свечения зарегистрировано не было. Отметим, что спектр свечения

<sup>1</sup> Использованный нами способ нагружения кристалла в гелиевом криостате несовершен и позволяет обнаружить эффект лишь качественно. Количественно

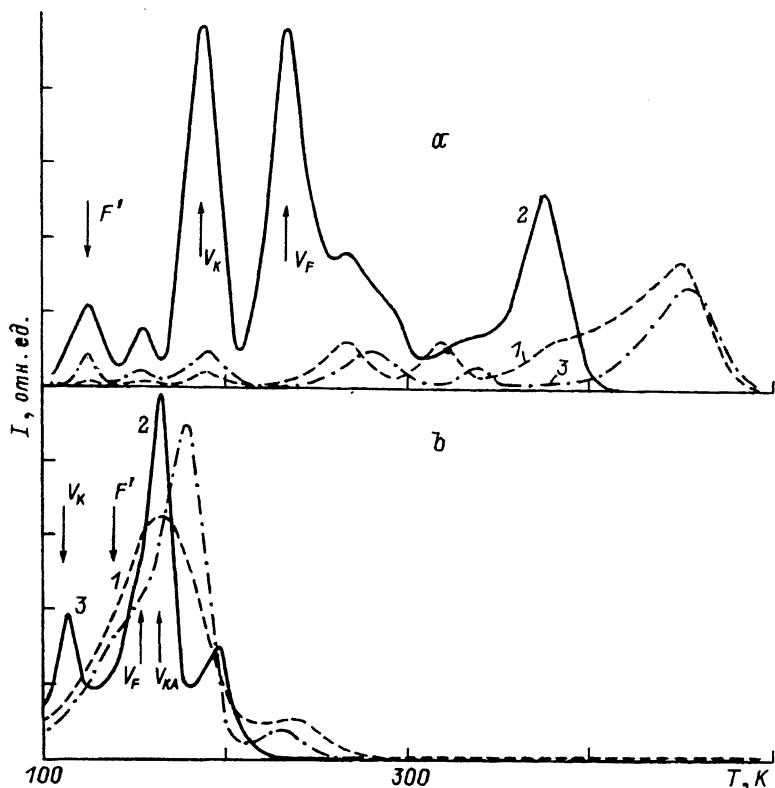


Рис. 4. Кривые термостимулированной люминесценции X-облученных при 80 К кристаллов КВг (а) и КИ (b).

1 — недеформированные кристаллы; 2 — кристаллы, деформированные при 80 К сжатием до 4–5%; 3 — кристаллы, повторно X-облученные после измерения кривой 2.

( $\pi$ - и  $\sigma$ -полосы) напряженного (рис. 3,с) и ненапряженного кристаллов КИ был одинаков при создании при 4.2 К электронных возбуждений светом 7.7 эВ, соответствующим межзонным переходам.

Нами были измерены также спектры термостимулированной люминесценции (ТСЛ) напряженных X-облученных кристаллов КВг и КИ. Конечно, по мере нагрева напряженных при 4.2 и 80 К кристаллов механическое воздействие ослабляется и получаемые спектры ТСЛ по существу отражают состав дефектов в постдеформированном образце.

На рис. 4 приведены кривые ТСЛ для КВг (а) и КИ (b), X-облученных при 80 К. Спектры ТСЛ деформированных образцов (кривые 2) приведены в сравнении с кривыми ТСЛ для недеформированных (кривые 1) и деформированных и отожженных до 500 К образцов (кривые 3). Как видно, в деформированном КВг более чем на порядок возрастают интенсивности  $V_K$ - и  $V_F$ -пигов, а также пика около 370 К, обусловленного разрушением одиночных  $Vg_3^-$ -центров, в то время как интенсивность высокотемпературного пика (около 450 К) уменьшается

ная повторяемость низка из-за явления неконтролируемого сброса напряжения в процессе охлаждения нагруженного при 300 К кристалла. В дальнейшем мы намереваемся усовершенствовать методику нагружения при 4.2 К.

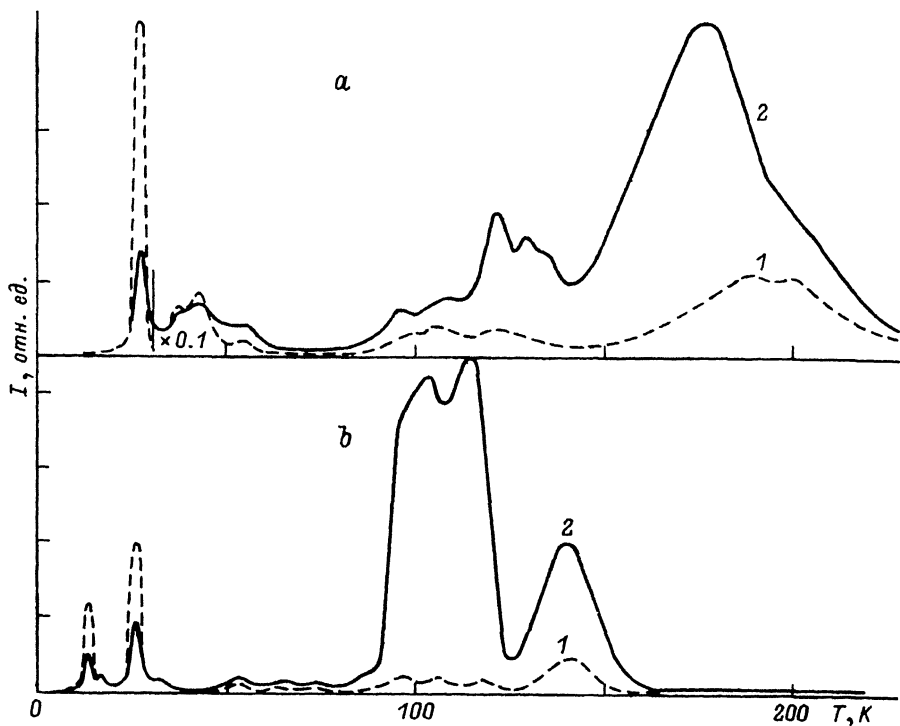


Рис. 5. Кривые термостимулированной люминесценции  $X$ -облученных при 4.2 К кристаллов КВг (а) и КИ (б). 1 — недеформированные кристаллы; 2 — кристаллы, деформированные при 300 К сжатием до 13 и 6%, соответственно.

существенно. В деформированном КИ также отчетливо проявляются  $V_K$  и  $V_F$ -пики, также уменьшается интенсивность высокотемпературного пика ТСЛ. Последнее как в КИ, так и в КВг есть отражение того, что в свежedefормированных кристаллах на базе вакансионных дефектов создаются предпочтительно одиночные  $NaI_3^-$ -центры, тогда как в недеформированных образцах таких ловушек для Н-центров мало и создаются крупные конгломераты Н-центров с высокой температурой разрушения. Как для КВг, так и для КИ прогрев деформированного кристалла до 500 К возвращает свежedefормированный образец в состояние, близкое к недеформированному.

В деформированных и  $X$ -облученных при 4.2 К кристаллах КВг и КИ (рис. 5, кривые 2) интенсивность низкотемпературных пиков ТСЛ ниже, а высокотемпературных пиков  $V_K$ -семейства много выше, чем в недеформированных образцах.<sup>2</sup> Низкотемпературные пики ТСЛ 27 К в КВг и 12.2 и 25.7 К в КИ по [15–17] соответствуют термическому разрушению дефектов, составляющих так называемую тройку радиационных дефектов  $F, I, V_K$ . Разрушение стимулируется возникающим при этих температурах движением  $I$ -центров. Поскольку число  $V_K$ -центров в деформированных КВг и КИ существенно больше, чем в

<sup>2</sup> Расхождение в положениях максимумов  $V_K$ -пиков и  $V_F$ -пиков на рис. 4,5, вероятно, обусловлено отличиями в скоростях нагрева.

недеформированных, уменьшение интенсивности низкотемпературных пиков ТСЛ естественно связать с уменьшением эффективности создания  $I$ -центров.

### 3. Обсуждение результатов

Из экспериментальной части видно, что в напряженных ШГК наблюдаются существенные изменения по сравнению с недеформированными образцами: в рентгенолюминесценции КВг и КІ увеличивается интенсивность  $\pi$  и  $\sigma$ -свечений и в КСІ и КВг возникают новые полосы излучения. В фотолюминесценции напряженных образцов КІ, возбуждаемых при 4.2 К светом, соответствующим созданию низкоэнергетических экситонов, происходит перераспределение  $\pi$  и  $E_X$ -свечений в пользу первого.

Все эти особенности, наблюдаемые только в напряженных кристаллах и пропадающие после снятия механического напряжения, говорят об изменении характера релаксации электронных возбуждений в напряженных образцах. Релаксация электронных возбуждений в ШГК весьма чувствительна к состоянию кристаллической решетки (сжата она или растянута). По [18,19], в регулярной ненарушенной решетке кристалла КІ релаксация экситонов приводит к созданию так называемого «слабого» off-center, характеризуемого некоторым небольшим смещением от симметричного ( $V_K + e^-$ )-центра. Для слабых off-center излучательная релаксация происходит с испусканием  $E_X$ -свечения, которое и доминирует в соответствующем спектре излучения недеформированного КІ (рис. 3,а). Обнаруженное нами в напряженных образцах КІ перераспределение интенсивностей  $\pi$  и  $E_X$ -свечений (рис. 3,б,с) говорит о том, что при приложении напряжения уменьшается относительное число возбуждений, релаксирующих при 4.2 К до состояния слабых off-center. При этом возрастает относительное число возбуждений, излучательная релаксация которых происходит с испусканием  $\pi$ -свечения. По [18],  $\pi$ -свечение характерно для излучательной релаксации так называемого «сильного off-center», характеризуемого большим смещением от симметричного  $V_K + e^-$ -центра.

Таким образом, нами зарегистрирована ситуация, когда в нарушенной решетке КІ слабый off-center становится менее устойчивым центром, чем сильный off-center, преимущественное создание которого теперь обуславливает доминирование  $\pi$ -свечения. Наиболее существенным для такого поведения является изменение расстояния между соседними ионами галогена по направлениям типа  $\langle 110 \rangle$ . Очевидно, в определенных участках нагруженного кристалла создается необходимое расширение решетки по направлениям  $\langle 110 \rangle$ , что и обуславливает увеличение создания числа сильных off-center. Другие же микроучастки решетки, в которых нет отклонений от нормальной регулярности, связаны с преимущественным созданием слабых off-center. Возможно, что соотношение интенсивностей  $\pi$ - и  $E_X$ -свечений в ненарушенном кристалле также есть отражение релаксации возбуждений в разных в структурном отношении участках решетки. Отметим, что в работах [18,19] также сделан вывод о переходах слабый-сильный off-center для кристаллов RbI. В [18] в растянутом RbI обнаружено уменьшение величины соотношения интенсивностей  $E_X/\pi$ , а в [19] в гидростатически сжатом RbI наблюдается нарастание величины  $E_X/\pi$ .



Перераспределение интенсивностей  $E_X$ - и  $\pi$ -свечений в КІ в результате деформационного воздействия получено нами впервые. Этот результат расширяет перечень экспериментальных данных, являющихся основой для представления релаксации электронных возбуждений в понятиях слабых и сильных off-center. С другой стороны, этот же результат кажется нам существенным еще и потому, что направление перераспределения в КІ (уменьшение  $E_X/\pi$ ) характерно для расширения по  $\langle 110 \rangle$  направлениям, что согласуется с характером упругой деформации в одноосносжатых при низкой температуре ШГК.

Результаты по рентгенолюминесценции напряженных ШГК (рис. 1) интерпретируются не столь однозначно. Можно, конечно, в свете вышеизложенного предположить, что возникновение новых полос 3.55 эВ в КВг и 3.88 эВ в КСІ есть тоже отражение перераспределения сильных off-center (характерных для недеформированных КВг и КСІ) в слабые off-center. Тогда новые полосы излучения можно было бы приписать релаксации слабых off-center, а сами свечения были бы аналогами  $E_X$ -свечений в КВг и КСІ. Однако такая интерпретация, связанная с необходимостью уменьшения в напряженном кристалле расстояния между анионами по  $\langle 110 \rangle$ , наталкивается на трудность получения этого при использованном нами методе нагружения.

Отметим тот факт, что 3.55 и 3.88 эВ полосы излучения в напряженных КВг и КСІ совпадают с полосами свечения, обнаруженными при 4.2 К в туннельной люминесценции  $X$ -облученных КСІ и КВг [20]. Эти полосы были интерпретированы [20] как результат туннельного перехода между основными состояниями близкорасположенных  $F' - V_K$ -центров. Из данных ТСЛ (рис. 4,5) видно, что в деформированных образцах число  $V_K$ -центров, возникающих при  $X$ -облучении, по крайней мере на порядок выше, чем в недеформированных. О присутствии в этих объектах  $F'$ -центров говорит наличие пиков на кривой ТСЛ в области термического разрушения этих центров (по [21], около 130 К в КВг и около 140 К в КІ). Таким образом, в напряженных  $X$ -облученных кристаллах наличие  $F' - V_K$  пар вполне естественно.

В связи с этим возникновение 3.55 и 3.88 эВ свечений в рентгенолюминесценции нагруженных образцов может быть связано с существенным увеличением вклада туннельной люминесценции  $F' - V_K$  пар в интенсивность рентгенолюминесценции. Если, по [16], около 1% интенсивности рентгенолюминесценции недеформированных КВг и КСІ при 4.2 К обусловлено туннельными переходами между дефектами, то в напряженных объектах это число может быть значительно выше. Пока трудно сказать, может ли это быть обусловлено просто увеличением числа  $F'$ -,  $V_K$ -центров (и, как следствие, уменьшением разделения в  $F' - V_K$  парах) или увеличением вероятности туннельной рекомбинации между дефектами. Причиной последнего может быть, например, ориентирующее воздействие внешней нагрузки на  $V_K$ -центры. Отметим также, что спектр туннельной люминесценции нагруженного кристалла КСІ (рис. 1, а, кривая 3) содержит только 3.88 эВ полосу.

Что касается явления усиления интегральной интенсивности рентгенолюминесценции в напряженных ШГК (как за счет возникновения новых свечений, так и за счет возрастания  $\pi$ - и  $\sigma$ -излучений), то в самых общих словах можно сказать, что в напряженном кристалле в излучательный канал релаксации электронных возбуждений уходит

больше энергии, чем в безызлучательный.<sup>3</sup> С этим согласуется обнаруженный нами факт уменьшения создания  $I$ -центров в деформированных кристаллах, что может быть свидетельством уменьшения эффективности радиационного создания дефектов Френкеля.

В заключение выражаем благодарность академику Ч.Б.Лушику за существенные замечания и дополнения при обсуждении результатов.

### Список литературы

- [1] Акилбеков А.Т., Васильченко Е.А., Сармуханов Е.Т., Шункеев К.Ш., Эланго А.А. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 3. С. 868-873.
- [2] Lushchik A., Lushchik Ch., Lushchik N., Frorip A., Nikiforova O., // Phys. St. Sol. (b). 1991. V. 168. N 1. P. 413-423.
- [3] Vasilchenko E., Sarmukhanov E., Shunkeev K., Elango A. // Phys. St. Sol. (b). 1992. V. 174. N 1. P. 155-163.
- [4] Vasilchenko E., Sarmukhanov E., Elango A., // Phys. St. Sol. (b). 1993. V. 177. N 2 (in press).
- [5] Лайсаар А.И., Завт Г.С., Кирс Я.Я., Шербаков В.С. // Тр. ИФ АН Эстонии. 1989. Т. 63. С. 177-222.
- [6] Ohno N., Hashimoto S., Itoh M. // J. Phys. Soc. Jap. 1990. V. 59. N 1. P. 361-369.
- [7] Смирнов Б.И. Дислокационная структура и упрочнение кристаллов. Л.: Наука, 1981. 235 с.
- [8] Каплянский А.А. // Опт. и спектр. 1964. Т. 16. С. 602-614.
- [9] Клявин О.В., Симашко С.Г., Ярошевич В.Д. // ФТТ. 1971. Т. 13. № 12. С. 3508-3512.
- [10] Гиндина Р.И., Маароос А.А., Плоом Л.А., Яансон Н.А. // Тр. ИФ АН ЭССР. 1979. Т. 49. С. 45-89.
- [11] Никифорова О.А., Маароос А.А., Яансон Н.А. // Тр. ИФ АН ЭССР. 1985. Т. 57. С. 157-174.
- [12] Ikezawa M., Kojima T. // J. Phys. Soc. Jap. 1969. V. 27. N 6. P. 1551-1563.
- [13] Васильченко Е.А., Осмоналиев К., Яансон Н.А. // Тр. ИФ АН ЭССР. 1985. Т. 57. С. 57-86.
- [14] Kishigami T., Toyoda K., Hayashi T. // J. Luminescence. 1991. V. 48/49. Part II. P. 129-132.
- [15] Aboltin D.E., Grabovskis V.J., Kangro A.R., Lushchik Ch.B., O'Konnell-Bronin A.A., Vitol I.K., Zirap V.E. // Phys. St. Sol. (a). 1978. V. 97. N 2. P. 667-675.
- [16] Kink R., Lüdja G. // Phys. St. Sol. 1970. V. 40. N 1. P. 379-387.
- [17] Васильченко Е.А., Лушик Ч.Б., Осмоналиев К. // ФТТ. 1986. Т. 28. С. 1991-1997.
- [18] Itoh M., Hashimoto S., Ohno N. // J. Phys. Soc. Jap. 1990. V. 59. N 6. P. 1881-1889.
- [19] Kanno K., Tanaka K., Hayashi T., // Rev. Solid State Sci. 1990. V. 4. N 2. P. 383-401.
- [20] Grabovskis V.J., Vitols I.K. // J. Luminescence. 1979. V. 20. N 4. P. 337-342.
- [21] Lynch D.W., Robinson D.A. // Phys. Rev. 1968. V. 174. N 3. P. 1050-1059.

Институт физики АН Эстонии  
Тарту

Поступило в Редакцию  
16 июля 1993 г.

---

<sup>3</sup> Аналогичный вывод был сделан в работе [5], в которой также был зарегистрирован рост интенсивности рентгенолюминесценции при повышении давления в процессе гидростатического сжатия ШГК.