

СТАБИЛИЗАЦИЯ МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ОДНООСНО СЖАТЫХ ПРИ 80 К КРИСТАЛЛАХ КВг

© А.Бекешев, Е.Васильченко, К.Шункеев, А.Эланго

Институт физики, ЕЕ2400 Тарту, Эстония
(Поступила в Редакцию 21 февраля 1996 г.)

На примере кристалла КВг с содержанием примеси Na^+ на уровне 10^{-4} молярных долей показано, что понижение симметрии кристаллической решетки в результате приложения напряжения одноосного сжатия по направлениям (100) и (110) существенно изменяет процесс стабилизации междоузельных H -центров, возникающих при X -облучении при 80 К в напряженном образце. При приложении напряжения практически исчезает действующее упругое притяжение между H -центрами, что отражается в существенном падении эффективности создания Vg_3^- -центров. Стабилизация H -центров при этом осуществляется в результате усиления локализации H -центров около примесных ионов Na^+ . В ненапряженном кристалле последний процесс при использованной концентрации Na^+ весьма незначителен. В отличие от миграции H -центров, которая становится ориентированной и облегчается от приложения напряжения, миграция электронных возбуждений, напротив, затрудняется, и наблюдаются эффекты, которые могут быть объяснены более быстрой автолокализацией электронных возбуждений в напряженных кристаллах.

Процесс релаксации возбуждения, возникающего при взаимодействии щелочно-галогидных кристаллов (ШГК) с ионизирующим излучением, состоит из многих этапов (см., например, [1]). Поглощенная энергия быстро перераспределяется в энергию простейших электронных возбуждений. Дальнейшая релаксация этих возбуждений включает их миграцию и автолокализацию, излучательный распад и распад на первичные радиационные дефекты (вакансионные F -центры и междоузельные H -центры), а также последующую стабилизацию первичных междоузельных галогенных дефектов. Последний этап в значительной мере отвечает за величину радиационной стойкости определенного кристалла.

В основных чертах процесс релаксации в ШГК уже определен. Однако в деталях еще много неясного, причем это касается всех стадий релаксации возбуждения. Наиболее отчетливо детали проявляются при приложении к исследуемому объекту какого-либо возмущения, природа которого заранее известна. Одним из наиболее сильных возмущений является приложенное к кристаллу механическое напряжение сжатия. Кристаллическая решетка ШГК при сжатии по одному из (100)-направлений обладает тетрагональной дисторсией, и точечная группа симметрии понижается при этом с O_h до D_{4h} [2,3].

Ранее нами [4,5] было экспериментально показано, что приложение одноосного сжатия приводит к сильному (почти на порядок) возрастанию эффективности выхода рентгенолюминесценции в KCl, KBr и KI, X-облученных при 80 К. Настоящее исследование посвящено изучению безызлучательного канала распада в X-облученных ШГК. Для этой цели более всего подходит абсорбционный метод исследования напряженного X-облученного кристалла, так как большинство радиационных дефектов хорошо идентифицируется по характерным полосам поглощения.

Мы начали с изучения последней стадии дефектообразования — стабилизации подвижных при 80 К междоузельных H -центров. Как хорошо известно (см., например, [1,6]), основной структурной единицей H -центров в KBr является молекулярный линейный ион Br_2^- , ориентированный по (110) -направлениям и расположенный частично в одном анионном узле и частично в окружающих его междоузлиях. Устойчивые галогенные дефекты (обуславливающие макроскопические изменения в облученном кристалле) возникают как при взаимодействии двух (и более) H -центров друг с другом, так и при захвате H -центров различными примесными и собственными дефектами. В первом случае в результате встречи двух H -центров осуществляется химическая реакция, и из двух Br_2^- -ионов создается новый молекулярный трехгалогидный ион Br_3^- [7,8]. Этот механизм в основном определяет выживание радиационных дефектов в чистых ШГК. В кристаллах с примесями добавляется еще возможность создания примесных H -центров. Такими, например, H_A -центры [6], в которых местом локализации H -центров является окрестность примесных гомологических катионов с радиусом меньше, чем у основного катиона. В KBr это ионы Na^+ и Li^+ , и соответственно возникают $H_A(Na)$ - и $H_A(Li)$ -центры.

В настоящей работе излагаются результаты экспериментального исследования влияния одноосного сжатия на процесс стабилизации H -центров в кристалле KBr с примесью натрия при X-облучении при 80 К.

1. Объекты исследования и экспериментальные методы

В качестве основного объекта исследования мы использовали кристаллы KBr, известные под условным названием «номинально чистые» и выпускаемые различными фирмами для различных прикладных нужд. Такими, например, кристаллы KBr, выращенные в НИИ монокристаллов (Харьков, Украина), которые мы использовали. Эти кристаллы, как правило, обладают хорошей кристаллической структурой и большими размерами, но не подвергнуты предварительной глубокой очистке от сопутствующих примесей. К таким примесям в первую очередь относятся гомологические примеси (Na^+ , Rb^+ , Cl^- и т.д.). Для проведения нашего исследования существенно было не просто наличие примеси натрия, а ее нахождение в форме встроенных в регулярные катионные узлы ионов Na^+ , замещающих основные катионы калия. Нами осуществлена оценка количества Na^+ по интенсивности специфического околопримесного свечения (2.8 eV в KBr). Спектр свечения проанализирован как при оптическом создании экситонов (6.78 и 6.86 eV) с

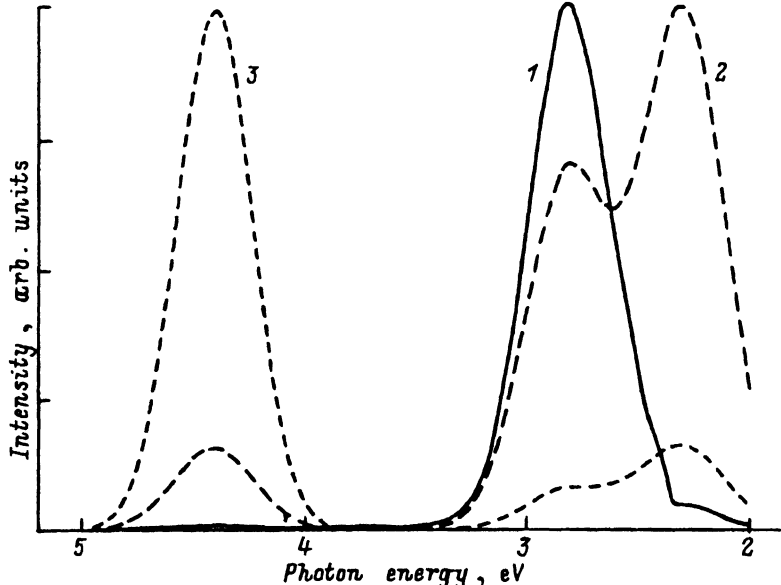


Рис. 1. Спектры люминесценции «номинально чистого» кристалла KBr, возбуждаемой при 4.2 К светом с энергией фотонов 6.78 ± 0.001 (1), 6.86 ± 0.023 (2) и 7.7 ± 0.16 eV (3).

последующей передачей энергии примесным центрам, так и при возбуждении кристалла в области межзонных переходов (7.7 eV) с поочередным захватом примесью дырок и электронов. На рис. 1 приведены спектры излучения такого «номинально чистого» KBr при этих возбуждениях. Как хорошо видно, полоса 2.8 eV четко выражена во всех спектрах и при электронно-дырочном возбуждении составляет половину от π -свечения автолокализованных экситонов (2.28 eV) и $\sim 10\%$ от α -свечения (4.42 eV). Из сравнения полученных спектров с аналогичными спектрами в кристаллах, выращенных в Институте физики Эстонии из прошедшего специальную очистку сырья (включая многократную зонную перекристаллизацию) с добавлением дозированного количества примесей, мы оценили концентрацию ионов Na^+ на уровне $(3-5) \cdot 10^{-4}$ молярных долей.

Спектры поглощения возбужденных и напряженных кристаллов измерялись при 80 К с помощью спектрофотометра Spexord M40 в интервале $1.7-6.2$ eV. Как X-облучение, так и механическое одноосное сжатие объектов осуществлялось в специально приспособленном для этого криостате при 80 К. Криостат имеет устройство для фиксации деформируемого кристалла в напряженном состоянии. Напряжение прикладывалось сжатием по $\langle 100 \rangle$ - или $\langle 110 \rangle$ -направлениям. Степень сжатия оценивалась по углу поворота сжимающего винта с учетом шага его резьбы. В большинстве экспериментов степень сжатия не превышала 2% . Эту величину мы определили на основании собственных результатов. Согласно [4,5], усиление π - и σ -свечений при приложении одноосного сжатия наблюдается вплоть до степени сжатия 2% , а при значениях выше этого эффект нарастания свечений насыщается. Поскольку нарастание π - и σ -свечений — эффект обратимый (интен-

сивность свечения при снятии напряжения уменьшается, приближаясь к первоначальному значению), то можно считать, что он связан с упругим сжатием. Увеличение степени сжатия выше 2% приводит лишь к увеличению числа деформационных дефектов, сопровождающих пластическую деформацию. Поскольку последний эффект для нашего исследования вреден, так как затрудняет интерпретацию результатов, мы старались не превышать этого значения. X -облучение напряженных кристаллов осуществлялось от источника УРС-50 с W -анодом и при параметрах 50 kV и 18 mA.

2. Экспериментальные результаты

X -облучение при 80 K кристалла КВг с содержанием Na^+ на уровне 10^{-4} молярных долей приводит к созданию устойчивых дефектов, спектр поглощения которых приведен на рис. 2,а (кривая а). Стабильность F -центров (2.03 eV) обеспечивается созданием Vg_3^- -центров с поглощением около 4.5 eV, что характерно для центров со структурой $(Vg_3^-)_{aca}$ [7,8]. Припухлость в длинноволновой части Vg_3^- -полосы обусловлена созданием примесных Vg_3^- -центров (так называемая V_{4A} -центров) с поглощением около 4.05 eV. Отжиг кристалла до 450 K приводит к практически полному обесцвечиванию.

Если отожженный образец вновь X -облучить при 80 K, но уже при приложенном к нему напряжении сжатия по одному из $\langle 100 \rangle$ -направлений, то создаются совсем другие радиационные дефекты (кривая б на рис. 2,а). Комплементарно с F -центрами теперь возникают не Vg_3^- -центры, а $H_A(Na)$ -центры, проявляющиеся в полосе поглощения с максимумом при 2.98 eV. Интенсивно создаются также и другие пары дефектов Френкеля — вакансионные α -центры (6.18 eV) и междоузельные ионы Vg^- , локализованные около ионов Na^+ (так называемые I_A -центры, 5.35 eV).

С увеличением дозы X -облучения число радиационных дефектов возрастает по-разному в зависимости от того, напряжен кристалл или нет. На вставке к рис. 2,а это продемонстрировано на примере изменений в скорости накопления Vg_3^- -центров (кривые 1 и 2). Как видно, на начальных этапах X -облучения (до 60 min) эффективность создания Vg_3^- -центров почти на порядок меньше таковой в том же, но ненапряженном образце. Дальнейшее увеличение времени X -облучения приводит к более эффективному созданию Vg_3^- -центров и, очевидно, связано с исчерпанием возможности локализации возникающих H -центров около примеси Na^+ .

Полная эффективность дефектообразования в напряженном КВг с примесью Na , по-видимому, мало отличается от таковой в ненапряженном кристалле. На вставке к рис. 2,а приведены также кривые накопления F -центров (кривая 1' и 2'). Как видно, количество F -центров в напряженном образце несколько меньше, чем в ненапряженном, но это различие, в частности, может быть обусловлено тем, что часть близких $F-H_A$ -пар в результате их туннельной перезарядки превращается в $\alpha-I_A$ -пары, как это раньше наблюдалось в [9] и отражено также на рис. 2,а (кривая 2). Поэтому полное количество вакансионных дефектов в напряженном кристалле включает как число F -центров, так и число α -центров.

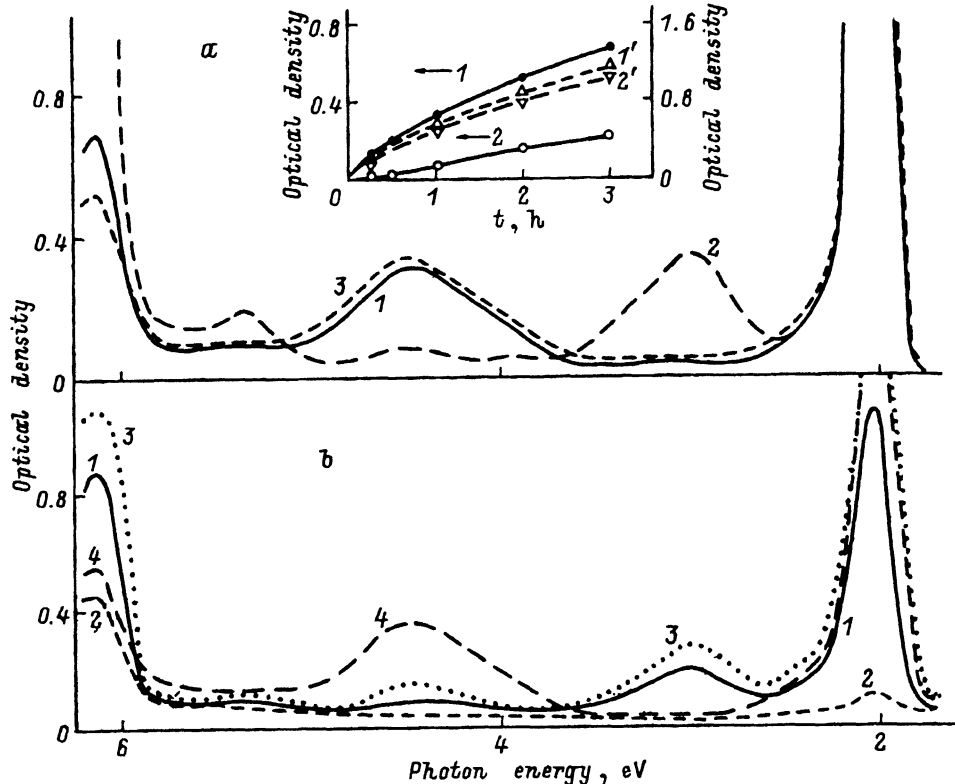


Рис. 2. Влияние одноосного сжатия по $\langle 100 \rangle$ на спектры возбужденного поглощения X-облученных при 80 К в течение 60 (а) и 30 мин (б) кристаллов KBr с примесью Na.

Спектры поглощения: а) 1 — недеформированный кристалл, 2 — при приложении сжатия (2%), 3 — после снятия напряжения сжатия; б) 1 — при приложенном напряжении (2.5%), 2 — после высвечивания белым светом при 80 К при приложенном напряжении, 3 — при последующем X-облучении при приложенном напряжении, 4 — при снятом напряжении. На вставке приведена зависимость эффективности выживания Vg_3^- -центров (1, 2) и F-центров (1', 2') от времени X-облучения при 80 К в недеформированном образце (1, 1') и в напряженном образце (2, 2').

Снятие механического напряжения заметно не изменяет спектра возбужденного поглощения, и последующий отжиг образца до 450 К, как и в случае ненапряженного образца, приводит к обесцвечиванию кристалла. Если теперь опять X-облучить кристалл при 80 К, не прикладывая напряжения, то получается спектр (кривая 3 на рис. 2,а), очень близкий к первоначальному (кривая 1, на рис. 2,а), т.е. вновь комплементарно с F-центрами создаются Vg_3^- -центры, а H_A -центры практически опять незаметны.

В описанных выше экспериментах в качестве способа очищения кристалла от радиационных дефектов между двумя X-облучениями использовался отжиг кристалла до 450 К. Это само по себе уже существенное воздействие и может быть причиной посторонних эффектов. Поэтому мы решили проверить полученные результаты, устраняя созданные в одном X-облучении дефекты путем промежуточного высвечивания кристалла при 80 К белым светом лампы накаливания. Рис. 2,б

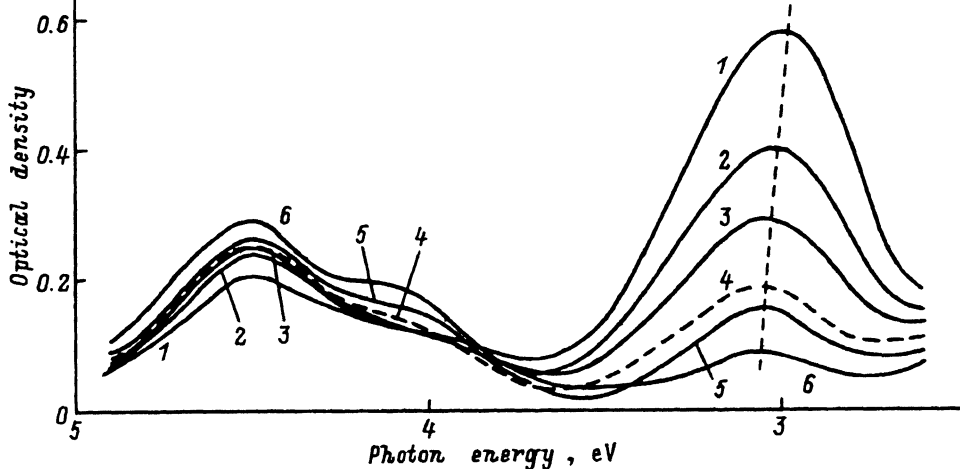


Рис. 3. Отжиг радиационных дефектов в напряженном одноосным сжатием (2%) по $\langle 100 \rangle$ кристалле KBr-Na , X -облученном при 80 К в течение 180 min. T (К): 1 — 80, 2 — 90, 3 — 100, 4 — 110, 5 — 120, 6 — 140.

(кривая 2) демонстрирует состояние кристалла после такого высвечивания образца, начальное состояние которого отражено на рис. 2, б (кривая 1). Как видно, светом практически полностью удается уничтожить H_A^- , Vg_3^- и F -полосы поглощения. При этом обесцвечивание светом наблюдается как при проложенном, так и при снятом напряжении. Если теперь обесцвеченный светом кристалл X -облучить при 80 К, сохраняя приложенное напряжение, то создадутся F - и H_A -центры (кривая 3 на рис. 2, б), а если это же сделать без приложения напряжения, то создаются F - и Vg_3^- -центры (кривая 4 на рис. 2, б). Еще раз напомним, что все перечисленные операции осуществлялись на одном образце и без изменения температуры, последняя все время была 80 К.

Механическое сжатие образцов мы осуществляли и по одному из направлений $\langle 110 \rangle$. Качественно результаты получились такие же, как и при сжатии по $\langle 100 \rangle$.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что стабилизация междоузельных H -центров в одноосно сжатых кристаллах KBr с примесью Na^+ осуществляется существенно по-другому, чем в ненапряженных образцах. В последнем случае стабилизация обусловлена созданием Vg_3^- -центров, а приложение напряжения переводит стабилизацию H -центров в канал создания $H_A(\text{Na})$ -центров.

Природа $H_A(\text{Na})$ -центров, проявляющихся в полосе поглощения с максимумом при 2.98 eV в напряженном KBr , наиболее выпукло выявляется при отжиге этих дефектов, показанному на рис. 3. Четко видно, что по мере отжига максимум полосы поглощения смещается в более коротковолновую сторону и, начиная с температур порядка 110–120 К, занимает положение около 3.05 eV. Последнее значение по литературным данным [10] соответствует поглощению H_A -центров в специально не напряженных кристаллах KBr-Na . Поглощение же при 2.98 eV соответствует поглощению H_{AA} -центров, в состав которых входит не один

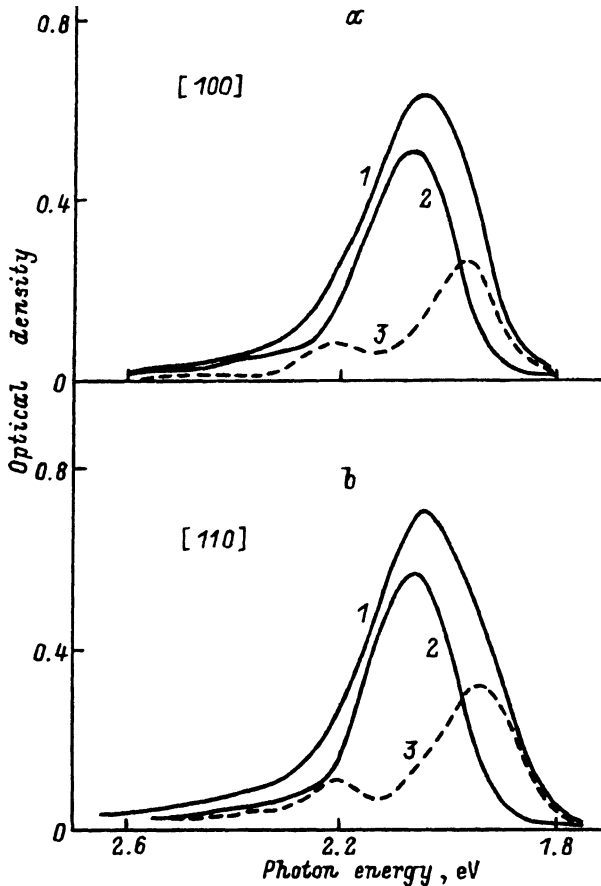


Рис. 4. Влияние одноосного сжатия (2%) по $\langle 100 \rangle$ (a) и по $\langle 110 \rangle$ (b) на форму F -полосы в KBr-Na , X -облученном при 80 К в течение 15 (a) и 30 min (b). 1 — ненапряженный кристалл, 2 — напряженный кристалл.

ион Na^+ (как в H_A -центре), а два иона примеси. Детально исследованный в [10] отжиг в ненапряженном KBr-Na происходит противоположно зарегистрированному нами: начальное положение полосы расположено при 3.05 eV, а, начиная приблизительно со 140 К, максимум смещается в длинноволновую сторону и занимает положение 2.98 eV. Согласно [9], центры 2.98 eV отжигаются при 140–170 К, а как видно из рис. 3, в напряженных образцах к 140 К уже почти все междоузельные дефекты отожжены. Во всем остальном отжиг H_A -центров в напряженном образце осуществляется аналогично ненапряженному, а именно он сопровождается симбатным отжигом F -полосы и нарастанием как чистых, так и примесных Vg_3^- -центров.

Обнаружены также различия в форме F -полос поглощения в напряженных и ненапряженных кристаллах KBr с примесью натрия. Как видно из рис. 4, одноосное сжатие кристаллов (как по $\langle 100 \rangle$ -, так и по $\langle 110 \rangle$ -направлениям) приводит к небольшому смещению максимума F -полосы в коротковолновую сторону (с 2.03 на 2.06 eV) и к существенному сужению F -полосы. В напряженных образцах полушири-

на F -полосы приблизительно столько (на 15–20%) меньше, чем в ненапряженных, и сравнивается по величине (0.19 eV) с таковой для чистого КВг, X -облученного при 80 К [11]. Разности спектров поглощения F -полос ненапряженного и напряженного кристаллов также приведены на рис. 4 (кривые 3). Эти двугорбые разностные кривые более всего напоминают спектр поглощения $F_A(\text{Na})$ -центров (максимумы при 2.09 и 1.95 eV), хотя точного совпадения нет. Отметим также, что при одноосном сжатии беспримесных кристаллов КВг заметных изменений в величине полосы F -полос нами не обнаружено.

3. Обсуждение результатов

Главным эффектом, полученным в данной работе, является то, что при одновременном X -облучении и приложении одноосного сжатия при 80 К в кристалле КВг с примесью Na^+ происходит радикальное перераспределение эффективности стабилизации междоузельных H -центров по разным каналам. От канала стабилизации через создание Vg_3^- -центров, характерного для ненапряженных образцов, при приложении напряжения наблюдается переход к каналу стабилизации путем локализации H -центров на примесных ионах натрия.

Создание Vg_3^- -центров при этих температурах в основном обусловлено взаимодействием H -центров друг с другом, и в нем можно выделить две стороны [6,12]. Первая из них связана с тем, что взаимодействие H -центров осуществляется не только при ближайшем контакте, но и на расстоянии, т.е. действуют дальнедействующие силы. По своей природе это в основном упругие силы. Вторую сторону можно назвать «химической». Она вступает в действие лишь тогда, когда H -центры уже сблизятся на расстояние, при котором становится возможной химическая реакция объединения двух Vg_2^- -ионов и создания нового молекулярного иона Vg_3^- [7,8].

Упругое взаимодействие между H -центрами возможно потому, что вокруг каждого H -центра существует анизотропное поле упругих смещений [12,13], изображенное на рис. 5,б. В плоскости размещения H -центра смещения направлены от H -центра, а в двух эквивалентных направлениях, перпендикулярных этой плоскости, смещения направлены к H -центру. При этом затухающие искажения простираются на расстояния до восьми постоянных решетки от H -центра [13]. В результате этого сечение захвата одного H -центра другим имеет величину порядка $(8a)^2$.

Не исключено, конечно, что Vg_3^- -центр создается и при взаимодействии H -центра с V_K -центром (основной структурной единицей которого также является Vg_3^- -ион) [14]. Однако величина дальнедействующего упругого взаимодействия в этом случае, очевидно, меньше, так как V_K -центр меньше деформирует решетку. Надежно отделить V_K - H -взаимодействие от H - H -взаимодействия помогут только специальные эксперименты, выполненные на кристаллах, в которых создано повышенное значение V_K -центров (КВг- NO_2 , КВг- Ag).

Смещения кристаллообразующих частиц вокруг примесного катиона Na^+ имеют кубическую симметрию (рис. 5,с) [15]. Все смещения сводятся к небольшому стягиванию окружения к маленькой примеси,

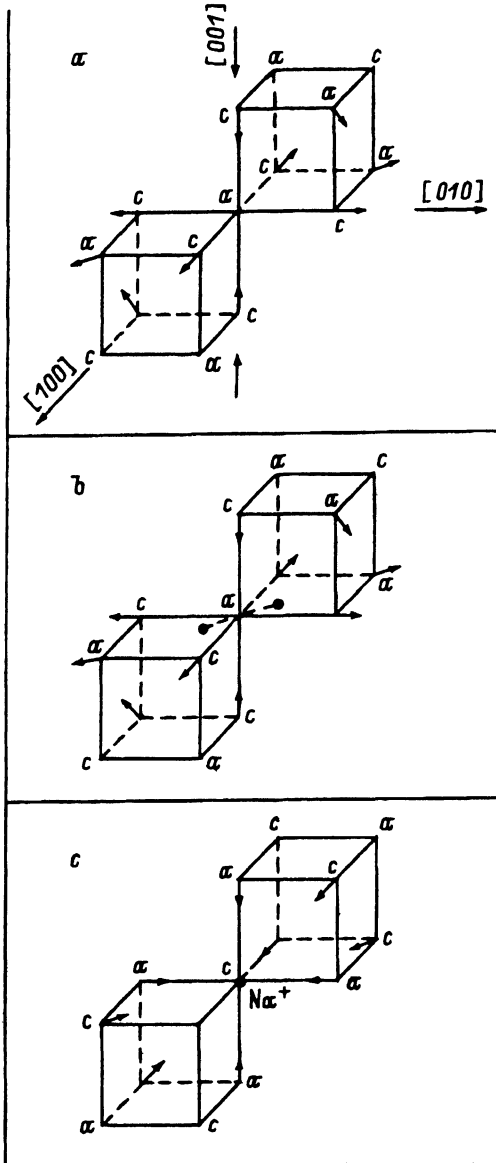


Рис. 5. Смещения кристаллообразующих частиц при одноосном сжатии КВг по $[001]$ (а), вокруг H -центра в КВг (б) и вокруг примесного иона Na^+ в КВг (с).

причем из-за быстрого затухания учитывать надо лишь первую сферу смещений. В результате этого сечение захвата H -центра ионом Na^+ имеет диаметр постоянной решетки.

Поскольку в ненапряженной решетке сечение захвата одного H -центра другим более чем в 50 раз больше сечения захвата H -центра ионом Na^+ , создание Vg_3^- -центров является преобладающим каналом стабилизации галогена. Лишь при концентрациях натрия выше 10^{-3} молярных долей это может измениться.

Обнаруженный нами факт, что при одноосном сжатии кристаллов число Vg_3^- -центров на начальной стадии X -облучения почти на порядок меньше, чем в ненапряженном кристалле (вставка на рис. 2), отражает существенное ослабление взаимодействия H -центров друг с другом. Поскольку трудно представить, как приложение сжатия может влиять на эффективность химической реакции создания Vg_3^- -центров, то объяснение наблюдаемого эффекта следует искать в изменении эффективности упругого дальнедействующего взаимодействия. Картина упругих смещений кристаллообразующих частиц в кристалле КВг подвергнутом одноосному сжатию по направлению $[001]$, изображена на рис. 5,а. Это тетрагональная дисторсия. Максимальные значения амплитуд смещений, определяемых как предельно возможные для упругих сдвигов в ШГК [16], можно оценить в районе 1% от величины постоянной решетки.

Если сравнить дисторсию одноосного сжатия (рис. 5,а) с дисторсией решетки вокруг H -центра (рис. 5,б), то видно, что они очень похожи. Направления всех смещений совпадают. Таким образом, в одноосно сжатой кристаллической решетке создается возможность энергетически выгодной ориентации H -центров в плоскостях, перпендикулярных направлению сжатия. В этой ориентации H -центры мало деформируют окружение. Ориентирующее действие одноосного сжатия распространяется и на сжатие по направлениям $\langle 110 \rangle$. Действительно, в возникающей при $\langle 110 \rangle$ -сжатии тригональной системе смещений также имеются такие удобные для размещений H -центров ориентации: ось H -центра ориентирована по одному из направлений $\langle 110 \rangle$, перпендикулярному другому $\langle 110 \rangle$ -направлению, которое является направлением сжатия. Поскольку при X -облучении при 80 К H -центры с легкостью переориентируются, то в одноосно сжатом КВг все H -центры должны быть ориентированы одинаково, в энергетически выгодной конфигурации.

Из-за отсутствия отличий в деформации окружения H -центра и любой другой точки напряженной решетки сечение захвата H -центра другим H -центром существенно уменьшается. Ориентированная миграция H -центров, очевидно, наоборот, осуществляется легче, так как перемещение H -центра в напряженной решетке не сопровождается перемещением облака сдвигов окружения. Об этом свидетельствует высокая эффективность создания H_A -центров в напряженном кристалле, в котором среднее расстояние между ионами Na^+ составляет 10–15 постоянных решетки. Эффективное создание H_A -центров обусловлено еще и увеличением сечения захвата H -центра ионом Na^+ из-за несовпадения кубической дисторсии окружения вокруг Na^+ (рис. 5,с) с тетрагональной дисторсией любой точки напряженной решетки КВг (рис. 5,а).

На возможность возникновения серьезных отличий в радиационных процессах в кристаллах, находящихся при сопряженном действии радиационных и упругих полей, обращалось внимание также и в [17]. В этой работе методом моделирования, в частности, было показано, что распространение цепочек соударений (миграция H -центров может быть так представлена) при сжатии кристалла облегчается.

Максимум полосы поглощения H -центров, связанных с примесью Na^+ , в напряженных кристаллах имеет значение, характерное для парных натриевых H_{AA} -центров (2.98 eV). При концентрации примеси $(3-5) \cdot 10^{-4}$ молярных долей создание парных центров незначительно (в спектре свечения на рис. 1 отсутствуют соответствующие полосы). По нашему мнению, положение при 2.98 eV является результатом того, что в напряженном кристалле H_A -центры ориентированы внешним полем. Внутренняя структура в этом случае аналогична той, которая получается при размещении двух примесных ионов, возмущающих с двух сторон по направлению (100) молекулярный ион Vg_2^- . Обнаруженное смещение максимума полосы в процессе отжига с позиции 2.98 eV в позицию поглощения H_A -центров (3.05 eV) отражает процесс постепенного снятия напряжения сжатия во время отжига образца.

Если структура конечного галогенного центра (Vg_3^- или H_A) отражает судьбу подвижных при 80 К H -центров, то структура F -центров может дать информацию о месте распада электронных возбуждений, поскольку неподвижный F -центр остается в месте распада. Ранее [18] было показано, что при селективном создании околопримесных возбуждений возникают F_A-H -пары. Поэтому сужение F -полосы в напряженном КВг с примесью Na^+ на 15–20% до уровня, характерного для чистых КВг, и форма разностных спектров напряженных и ненапряженных образцов (кривые \mathcal{J} на рис. 4) позволяют предположить, что в ненапряженном кристалле некоторая часть возбуждений достигает в процессе миграции околопримесных областей и, распадаясь на дефекты в окрестности примеси, оставляет в кристалле F_A-H -пары. При приложении одноосного сжатия в том же кристалле создаются в основном $F-H$ -пары, т.е. электронные возбуждения распадаются в беспримесных участках. Разумно считать, что приложение одноосного сжатия уменьшает длину пробега электронных возбуждений и увеличивает вероятность их автолокализации.

Как видно, понижение симметрии кристаллической решетки в результате приложения напряжения одноосного сжатия приводит к существенным изменениям в протекании процесса релаксации электронных возбуждений в X -облученном при 80 К кристалле КВг. На начальных этапах релаксации повышается вероятность автолокализации, на поздних стадиях релаксации наблюдаются радикальные изменения в каналах стабилизации междоузельного галогена. Эти сведения могут помочь не только более обоснованно подойти к оценке степени радиационной порчи образцов, по технологической и конструкционной необходимости находящихся одновременно под механическим напряжением и облучением ионизирующими излучениями, но и использовать одноосное сжатие как один из возможных способов управления радиационным процессом. Обращаем также внимание на то, какая требуется осторожность при оценке результатов, полученных в исследованиях, в которых использовались механические способы закрепления (а значит, и сжатия) образцов, особенно с последующим охлаждением в криостате.

В заключение выражаем глубокую благодарность академику Ч.Б.Лушику за прочтение рукописи и ценные замечания.

- [1] Ч.Б. Лущик, А.Ч. Лущик. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М. (1989). 264 с.
- [2] А.А. Каплянский. Опт. и спектр. **16**, 4, 602 (1964).
- [3] D. Bimberg, W. Dultz, W. Gebhardt. Phys. Stat. Sol. **31**, 661 (1969).
- [4] А.З. Бекешев, Е.А. Васильченко, Е.Т. Сармуханов, К.Ш. Шункеев, А.А. Эланго. ФТТ **36**, 2, 330 (1994).
- [5] К. Шункеев, Е. Васильченко, А. Эланго. ЖПС **62**, 3, 156 (1995).
- [6] N. Itoh. J. Phys. Coll. **37**, C7 (1976).
- [7] Н.А. Янсон, Р.И. Гиндина, Ч.Б. Лущик. ФТТ **16**, 2, 379 (1974).
- [8] А.А. Elango, T.N. Nurakhmetov. Phys. Stat. Sol. (b) **78**, 529 (1976).
- [9] A. Dauletbekova, A. Elango. Phys. Stat. Sol. (b) **108**, 299 (1981).
- [10] K. Tanimura, T. Okada, T. Suita. Solid State Commun. **13**, 4, 471 (1973).
- [11] И.А. Парфианович, Э.Э. Пензина. Электронные центры окраски в ионных кристаллах. Иркутск (1977). 208 с.
- [12] C.R.A. Catlow, K.M. Diller, L.W. Hobbs. Phil. Mag. **A42**, 123 (1980).
- [13] K. Bachmann, H. Peisl. J. Phys. Chem. Sol. **31**, 7, 1525 (1970).
- [14] A. Lushchik, I. Kudrjavitseva, Ch. Lushchik, E. Vasil'chenko, M. Kirm, I. Martinson. Phys. Rev. **B52**, 14, 10069 (1996).
- [15] Н.Н. Кристофель. Опт. и спектр. **7**, 1, 78 (1959); Тр. ИФА АН ЭССР **15**, 3 (1961).
- [16] В.А. Кучин, В.Л. Ульянов. Упругие и неупругие свойства кристаллов. М. (1986). 134 с.
- [17] Р.Д. Дохнер. В сб.: VI Всесоюз. конф. по радиационной физике и химии ионных кристаллов. Рига (1986). С. 20-23.
- [18] Ч.Б. Лущик, Р.И. Гиндина, Н.Е. Лущик, М.М. Тайиров, К.Ш. Шункеев. Тр. ИФ АН ЭССР **53**, 146 (1982).