

УДК 539.21 : 539.12.04

© 1990

РАДИАЦИОННАЯ ТРЯСКА И МАКРОАКУСТИЧЕСКИЕ [ВОЛНЫ
В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ

В. В. Гаврилов, В. Д. Куликов, С. А. Чернов

Сообщается о наблюдении эффекта радиационной тряски в кристалле RbCl. Приводятся результаты исследования воздействия макроакустической волны упругих напряжений на радиационные дефекты в щелочно-галлоидных кристаллах.

В [1, 2] экспериментально обнаружен новый механизм радиационно-стимулированных процессов — «радиационная тряска», — ранее предсказанный теоретически [3]. Суть этого механизма заключается в том, что при создании и аннигиляции френкелевских пар радиационных дефектов в результате происходящего при этом локального изменения объема в кристалле возникают волны упругих напряжений. Взаимодействие этих волн с существующими точечными дефектами может приводить к безактивационной миграции междуузельных атомов, влиять на вероятность безызлучательных процессов в центрах свечения и т. п.

Идея экспериментального обнаружения радиационной тряски заключается в регистрации сокращения времени жизни дефекта-свидетеля вследствие его взаимодействия с упругой волной. Критерием принадлежности такого процесса радиационной тряске является совпадение кинетики аннигиляции неустойчивых френкелевских пар дефектов-свидетелей. В качестве дефектов-свидетелей использовались триплетные состояния автолокализованного экситона в ряде щелочно-галлоидных кристаллов [2].

К сожалению, по ряду причин (отсутствие идентифицированных и хорошо разделенных по спектру и времени жизни полос поглощения пар френкелевских дефектов и дефектов-свидетелей, высокой энергии активации для аннигиляции дефекта-свидетеля) эффект надежно установлен только для кристалла KCl, хотя теоретические оценки показывают, что радиационная тряска должна проявляться как в упорядоченных [3, 4], так и структурно-неупорядоченных [5] веществах.

В последнее время удалось установить проявление радиационной тряски и в кристалле RbCl. Кристалл возбуждался импульсом электронов сильноточного ускорителя ГИН-600 (350 кэВ, 0,1—1 кА, 5 нс). Исследовалась кинетика релаксации поглощения F -центров и автолокализованных экситонов при 8—12 К.

На рис. 1 приведен спектр наведенного импульсом электронов короткоживущего оптического поглощения в кристалле RbCl. Выделяются полосы F -центров и триплетных автолокализованных экситонов. Видно, что за 100 нс релаксирует значительная часть экситонов.

На рис. 2 показана кинетика релаксации F -полосы и полосы автолокализованных экситонов в нашем эксперименте и при низкой плотности возбуждения. Если собственное время жизни автолокализованного экситона в RbCl при гелиевых температурах составляет ≈ 9 мс, то при высоких плотностях возбуждения время жизни полосы такого экситона совпадает с временем жизни F -центров и составляет ≈ 600 нс.

Этот результат (уменьшение собственного времени жизни автолокализованного экситона более чем на три порядка) аналогичен полученному на кристалле KCl [1, 2] и может быть интерпретирован как проявление радиационной тряски.

Значительной величины эффекта способствует низкая энергия активации разрушения экситонов в RbCl $E_a \approx 0,009$ эВ. Отметим, что в кристалле KBr, в котором величина эффекта незначительна, $E_a \approx 0,05$ эВ [2].

Подробный анализ альтернативных объяснений эффекта приведен в [6]. Остановимся лишь на экспериментальной проверке одного из них. Появление коротких компонентов аннигиляции экситонов и $F-H$ -пар может быть в принципе связано с воздействием на них макроскопических акустических

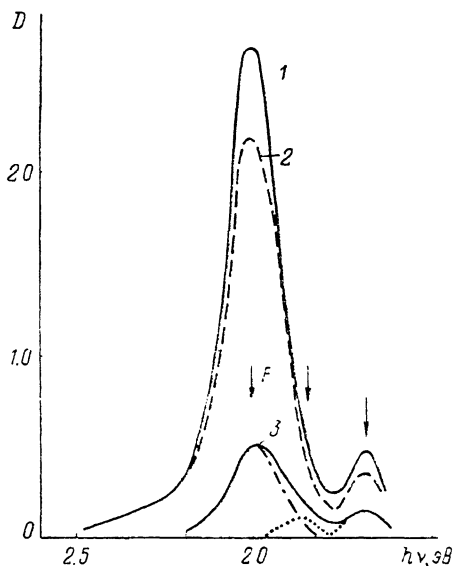


Рис. 1. Спектр оптического поглощения RbCl после облучения пучком ускорителя при 8 К.

1 — в момент окончания импульса, 2 — через 100 нс после окончания импульса, 3 — разностный спектр. Стрелками обозначено положение максимумов полос поглощения F -центров и автолокализованных триплетных экситонов.

волн, возникающих в кристаллах при облучении сверхплотными электронными пучками [7]. В этом случае воздействие макроакустических волн (длина волны которых значительно превышает параметр решетки) может приводить к изменению характеристических времен жизни как автолокализованных экситонов, так и F -центров. Тогда совпадение

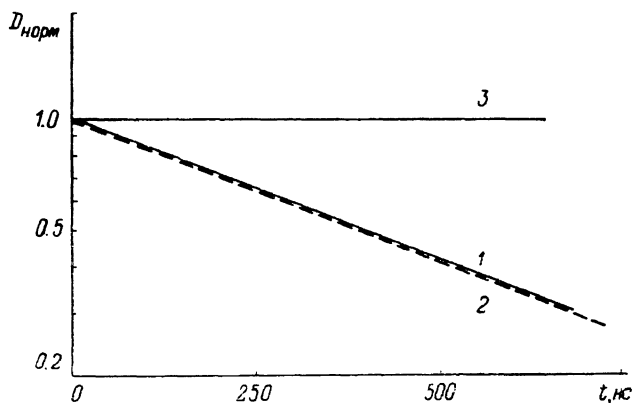


Рис. 2. Кинетика релаксации поглощения F -центров (1) и триплетных автолокализованных экситонов (2, 3) при 8 К в RbCl при возбуждении плотным пучком электронов (1, 2) и рентгеновским излучением (3).

времен аннигиляции $F-H$ -пар и автолокализованных экситонов является естественным следствием общности вызывающей их причины. Время аннигиляции в этом случае определяется длительностью акустического импульса $\tau_a = R/c$, где R — максимальный пробег ускоренных электронов, c — скорость звука в кристалле.

Исследовалось влияние акустической волны на поглощение центров окраски в KCl, NaCl и KI. Методика измерения изложена в [8, 9]. Импульс

электронов генерирует как короткоживущие центры окраски, так и быстрый нагрев образца. Расширение нагретой области приводит к образованию биполярного акустического импульса сжатия—растяжения, который регистрируется по наведенному двойному лучепреломлению. Биполярный импульс после отражения на необлученной грани образца меняет полярность и возвращается биполярным импульсом растяжения—сжатия в облученную область. После отражения от облучаемой грани амплитуда сжимающих нагрузок возрастает в 2 раза [8, 10, 11]. Ожидаемый результат воздействия акустической волны на кинетику оптического поглощения F -центров представлен на рис. 3.

При мгновенной аннигиляции F — H -пар под действием акустической волны должно наблюдаться резкое ступенчатое уменьшение оптического по-

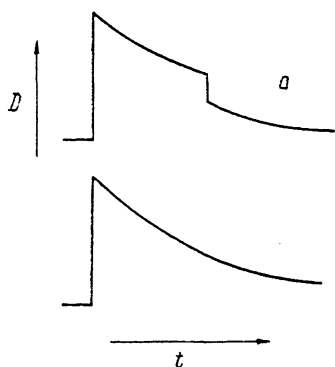


Рис. 3. Случай быстрой аннигиляции F -центров под воздействием акустической волны.

a — ожидаемый импульс поглощения, b — наблюдаемый импульс.

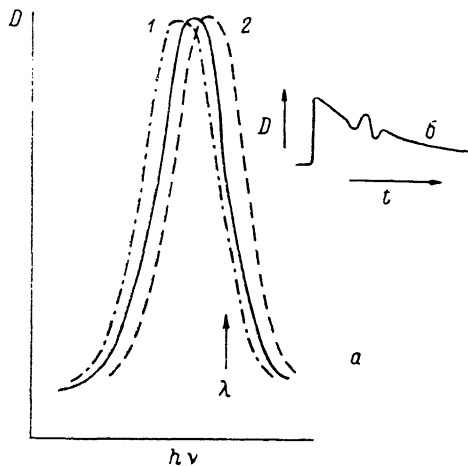


Рис. 4. Случай смещения F -полосы в результате изменения параметра решетки под воздействием акустической волны.

a : спектры поглощения, стрелкой указана длина волны зондирующего света. 1 — сжатие, 2 — растяжение. b : ожидаемый импульс поглощения в случае смещения полосы.

глощения (рис. 3, a). В эксперименте не удалось зафиксировать такого ступенчатого уменьшения (рис. 3, b), даже при увеличении чувствительности метода на порядок. Поскольку акустический импульс растяжения—сжатия является слабозатухающим [8], а эффект радиационной тряски наблюдался при уменьшении плотности возбуждения на порядок по сравнению с максимальным, использованным в наших экспериментах (≈ 0.5 Дж/см²) [6], то можно сделать вывод, что полученные результаты являются прямым доказательством того, что упругие напряжения, индуцированные при облучении сильноточным пучком электронов ($\sim 10^7$ н/м²), недостаточны для стимулирования аннигиляции F — H -пар.]

Действие акустической волны на F -центры можно связать и с зависимостью положения F -полосы от параметра решетки через уравнение Мольво—Айви

$$\nu_m d^2 = \text{const.}$$

Тогда изменение параметра решетки d приводит к ситуации (рис. 4). Уменьшение параметра решетки d должно приводить к смещению максимума полосы F -центров в коротковолновую область. Увеличение d смещает максимум в длинноволновую область спектра. Если регистрируется поглощение F -центров на фиксированной длине волны, то должны наблюдаться изменения величины поглощения при прохождении волны растяжения—сжатия (рис. 4). Однако такая ситуация в эксперименте не наблюдается.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что и короткие компоненты в аннигиляции $F-H$ -пар и эффект радиационной тряски не связаны с генерацией макроскопических акустических волн. Возможно, что упругие волны, возникающие при аннигиляции короткоживущих $F-H$ -пар вследствие анизотропии или других свойств, сильнее влияют на процесс аннигиляции автолокализованных экситонов.

Авторы благодарны Н. Е. Луцки и А. Ч. Луцкику за предоставление кристаллов $RbCl$ высокой чистоты.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алукер Э. Д., Гаврилов В. В., Чернов С. А. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. № 5. С. 294—298.
- [2] Алукер Э. Д., Гаврилов В. В., Чернов С. А., Эцип С. С. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 2. С. 321—326.
- [3] Инденбом В. Л. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. № 9. С. 489—492.
- [4] Инденбом В. Л. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. физика радиационных повреждений и радиационного материаловедения. 1985. В. 2 (35). 1—96. С. 3—8.
- [5] Хабибуллаев И. К., Оксенгендлер В. Л., Пахаруков Ю. В. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 10. С. 3132—3133.
- [6] Алукер Э. Д., Гаврилов В. В., Дейч Р. Г., Чернов С. А. Быстропротекающие радиационно-стимулированные процессы в щелочно-галогидных кристаллах. Рига: Зинатне. 1987. С. 183.
- [7] Высокоэнергетическая электроника твердого тела: Под ред. Д. И. Вайсбурда. Новосибирск: Наука, 1982. С. 207.
- [8] Куликов В. Д., Лисицын В. М. // ЖТФ. 1983. Т. 63. № 12. С. 2417—2419.
- [9] Куликов В. Д., Лисицын В. М. // Деп. ВИНТИ. 1987. № 2044-B87. 38 с.
- [10] Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. С. 562.
- [11] Александров А. Я., Ахметзянов М. Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М.: Наука, 1973. С. 416.

Институт физики АН ЛатвССР
Саласпилс

Поступило в Редакцию
30 июня 1989 г.
В окончательной редакции
16 октября 1989 г.