

Оптическое гашение магнитоэластического эффекта в кристаллах NaCl

© Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, М.В. Бадылевич, С.З. Шмурак*

Тамбовский государственный университет,
392000 Тамбов, Россия

*Институт физики твердого тела Российской академии наук,
142432 Черногоровка, Московская обл., Россия

(Поступила в Редакцию 16 января 1997 г.)

Обнаружено, что освещение кристаллов NaCl ультрафиолетовым светом ($\lambda = 350 \text{ nm}$) приводит к подавлению магнитоэластического эффекта. Вызываемые освещением процессы протекают в подсистеме точечных дефектов и связаны с изменением состояния магнитоэластических дислокационных стопоров.

В [1] обнаружено смещение дислокаций в ионных кристаллах в постоянном магнитном поле (МП) с индукцией $B \sim 1 \text{ Т}$. Исследованию этого явления посвящено большое количество работ [2–8], однако до сих пор исчерпывающего объяснения ему не найдено. Одним из наиболее перспективных шагов в этом направлении является обнаружение чувствительности эффекта к малым дозам рентгеновского облучения [8]. Экспериментальные данные, полученные в [8], позволяют предполагать, что введенные радиационной обработкой магнитоэластические стопоры могут быть модифицированы светом оптического диапазона. Это дает основания ожидать, что и стопоры, имеющиеся в кристалле до облучения, могут быть подвержены оптическому возбуждению. В [7] установлено, что МП может изменять их состояние независимо от присутствия в кристалле свежесведенных дислокаций. Представляется важным обнаружение селективного способа влияния на точечные дефекты, который позволял бы изменять состояние магнитоэластических центров и не затрагивать состояние остальных. В этом и заключалась цель настоящей работы.

В экспериментах использовались номинально чистые необлученные кристаллы NaCl размером $2 \times 3 \times 10 \text{ mm}$. Они освещались лампой ДКСШ-200 через решеточный монохроматор МУМ. При этом выполнялось традиционно принимаемое условие $kd < 0.3$ (k — коэффициент поглощения, d — толщина кристалла) [9]. Температура образцов во время опытов контролировалась термодарой и оставалась постоянной с точностью $\pm 0.5 \text{ К}$. Одиночные импульсы магнитного поля амплитудой 7 Т и длительностью 0.01 с создавались с помощью токового генератора. Введение свежих дислокаций осуществлялось традиционным методом нанесения царапин на поверхность образца, а их положение в кристалле фиксировалось избирательным травлением.

Экспозиция кристаллов в МП приводила к смещению свежесведенных дислокаций, как и в [4,5]. Средняя длина пробега дислокаций, вызванного действием МП, L , составляла $15 \pm 1 \mu\text{m}$ (за вычетом фонового пробега $L_0 = 10 \pm 1 \mu\text{m}$, обусловленного травлением поверхности и не изменяющегося после освещения кристалла). Ростовые дислокации в результате освещения, экспозиции в МП и других экспериментальных процедур не

смещались в пределах точности экспериментов. Среднее расстояние между ростовыми дислокациями составляло $\sim 100 \mu\text{m}$, т.е. на несколько порядков величины превосходило их возможные нерегистрируемые перемещения при фотоэкспозиции или при экспозиции в МП. Следовательно, их присутствие в кристалле не могло привести к заметному перераспределению внутренних напряжений или другим способом повлиять на результаты экспериментов.

В первой серии опытов для изменения состояния дислокационных стопоров кристаллы до помещения в МП и введения дислокаций подвергались освещению светом с различной длиной волны λ в диапазоне от 250 до 800 nm в течение времени $t_1 = 15 \text{ min}$. После такой обработки и паузы длительностью $t_2 = 1 \text{ min}$ в кристалл вводили свежие дислокации: подвергали травлению и помещали в МП (последовательность процедур см. на рис. 1). Затем МП отключали, и кристаллы вновь подвергали травлению. Усреднением 100 – 200 пробегов индивидуальных дислокаций определяли средний пробег L' . Установлено, что L' зависит от λ (рис. 1). Наибольшей величины разность $|L' - L|$ достигала при $\lambda_{\text{ex}} = 350 \text{ nm}$, т.е. при ультрафиолетовом (УФ) освещении. В этом случае L' был близок к нулю. Следовательно, освещение кристалла перед экспозицией в МП почти полностью подавляло магнитоэластический эффект.

Это могло быть вызвано либо общим снижением подвижности дислокаций независимо от причины их перемещения в кристалле (например, в результате изменения состояния нечувствительных к МП стопоров), либо изменением состояния магнитоэластических точечных дефектов. Очевидно, что в первом случае пробеги дислокаций, вызванные действием внешних механических напряжений, а не МП, также будут уменьшаться после освещения кристалла. Во втором случае, при механическом нагружении фотоэкспонированного кристалла, можно ожидать как увеличение, так и уменьшение дислокационных пробегов.

Выбор между этими возможностями позволила сделать вторая серия экспериментов, в которой последовательность процедур была аналогична опытам первой серии за исключением того, что импульс МП заменялся калиброванным механическим импульсом сжатия (амплитудой 0.5 МПа и длительностью 200 ms). Величина

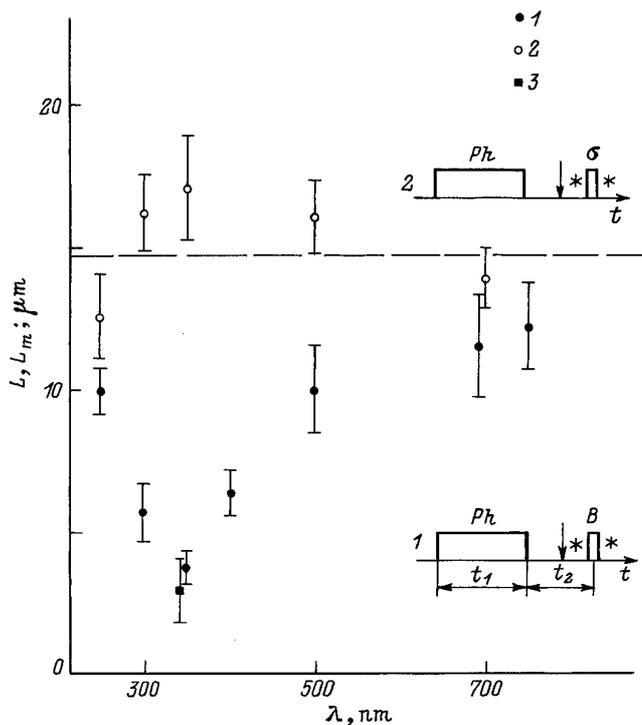


Рис. 1. Зависимости среднего пробега дислокаций (L, L_m), вызванного экспозицией кристалла в МП ($B = 7\text{ Т}$, длительность 0.01 с) L (1) или механическим нагружением L_m (2), от длины волны света λ , используемого для предварительного возбуждения кристалла. 3 — пробег дислокаций в МП, введенных через поверхность, образованную после фотоэкспозиции кристалла. На врезках — последовательность экспериментальных процедур в разных типах опытов (B — экспозиция в МП, Ph — фотоэкспозиция, σ — механическое нагружение, стрелка — введение свежих дислокаций, звездочка — травление).

нагрузки была подобрана так, чтобы вызываемый ею пробег дислокаций в кристаллах, не подвергавшихся освещению, L_m , был равен L . Установлено, что в противоположность опытам первой серии предварительное освещение светом с $\lambda_{ex} = 350\text{ нм}$ приводило даже к небольшому увеличению L_m (рис. 1). Следовательно, "механическая" подвижность дислокаций после УФ-освещения кристалла увеличивалась, а восприимчивость к внешнему МП терялась. С учетом сказанного выше это означает, что освещение кристаллов приводило к изменению состояния магниточувствительных дислокационных стопоров.

Стимулированный светом переход стопоров в новое состояние требовал не менее 15 мин освещения кристаллов для полного исчезновения магнитопластического эффекта при $T = 293\text{ К}$ (рис. 2). Выключение УФ приводило к восстановлению L' к значению, близкому к L , т.е. происходили релаксация фотостимулированных состояний и самопроизвольная сенсibilизация кристалла к воздействию МП. Таким образом, стимулированное УФ-освещением состояние магниточувствительных точечных дефектов было обратимым и носило характер возбуждения.

В принципе оптически чувствительные центры могут быть расположены на поверхности или в объеме кристалла. Для выяснения этого вопроса кристалл после оптического возбуждения раскалывался пополам, затем на свежесформированную поверхность наносились царапины. После этого производились экспозиция кристаллов в МП и измерение пробегов дислокаций. Результаты этих опытов не отличались в пределах точности экспериментов от вышеописанных (рис. 1). Следовательно, действию света были подвержены дефекты, находящиеся в объеме кристалла.

Гашение магнитопластического эффекта УФ-освещением наблюдалось в широком диапазоне длительностей импульсов МП от 10^{-2} до 10^2 с и было нечувствительным к длительности фронта импульса МП.

В отличие от рентгеновского облучения в [8] УФ-освещение с энергией 3.55 эВ (при $\lambda = 350\text{ нм}$) не могло приводить к созданию радиационных дефектов [10]. Его действие заключалось в изменении состояния дефектов, уже имеющих в кристалле до освещения. Это не могло объясняться откреплением ростовых дислокаций как в силу указанных выше причин, так и в силу обратимости фотостимулированного состояния кристалла (рис. 2), несовместимой с представлениями о релаксации внутренних напряжений. Следовательно, освещение влияло на состояние точечных дефектов.

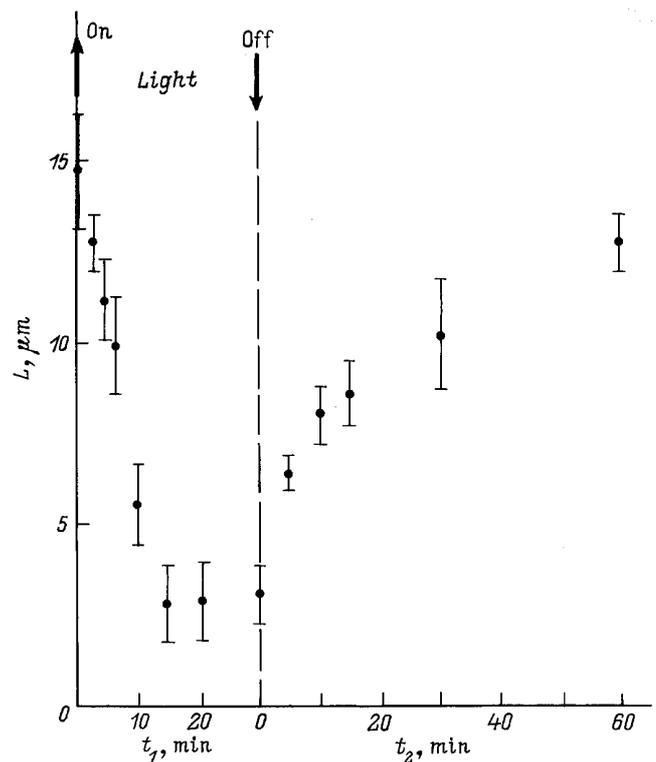


Рис. 2. Зависимости среднего пробега дислокаций, вызванного экспозицией кристалла в МП, от длительности t_1 предварительного освещения образца светом с $\lambda_{ex} = 350\text{ нм}$ и от длительности паузы t_2 между фотоэкспозицией продолжительностью $t_1 = 30\text{ мин}$ ($\lambda_{ex} = 350\text{ нм}$) и экспозицией кристалла в МП. Стрелками отмечены моменты включения и выключения света.

Изменение длины пробега дислокаций, вызываемое освещением кристалла и изменением состояния точечных дефектов, наблюдалось и ранее [9] и известно как фотоэластический эффект. В принципе он может наблюдаться при возбуждении центров различной природы, в том числе и тех, преодоление которых не облегчается в МП. В наших экспериментах УФ-освещение вызывало понижение чувствительности пластических свойств кристалла к МП и вместе с тем увеличение пробега дислокаций при механическом нагружении. Следовательно, действием света могли быть подвержены в основном те точечные дефекты, преодоление которых облегчается в МП.

Как правило, действие света заключается в перезарядке центров [11] или их диссоциации [12]. Электронные переходы между зонами в условиях наших экспериментов были невозможны из-за недостаточной энергии световых квантов. Длительные времена фотоэкспозиции, необходимые для подавления магнитоэластического эффекта, а также наличие минимума на зависимости $L'(\lambda)$ позволяют предполагать, что освещение приводит к фотостимулированному распаду комплексных точечных дефектов. Это предположение дает возможность непротиворечиво объяснить полученные результаты.

Схематически процессы, происходящие в кристалле при освещении и дальнейшей экспозиции в МП, могут быть объяснены следующим образом. Освещение кристаллов УФ-светом приводит к модификации (например, распаду) магнитоэластических центров. Продукты их распада, по-видимому, являются более слабыми стопорами для дислокаций. Поэтому дислокации, введенные после УФ, "поджимаются" внутренними напряжениями к другим, нечувствительным к МП центрам и "зависают" на них. Включение МП не может вызывать открепление дислокаций от таких стопоров, что и приводит к уменьшению магнитоэластических пробегов после освещения. В то же время распад части стопоров на более мелкие приводит к облегченному скольжению дислокаций при механическом нагружении кристаллов.

В пользу приведенных рассуждений свидетельствует также то, что изменения, вызываемые светом в подсистеме точечных дефектов, аналогичны тем, которые могут быть стимулированы в кристаллах экспозицией в МП [5]. В [5] показано, что предварительная выдержка кристаллов в МП перед введением свежих дислокаций вызывает распад комплексных магнитоэластических центров, что приводит к уменьшению дислокационных пробегов при повторной экспозиции в МП и увеличению их при нагружении механическими напряжениями.

Таким образом, обнаружено фотовозбуждение магнитоэластических стопоров, подавляющее магнитоэластический эффект в ионных кристаллах. Показано, что УФ-свет может быть использован в качестве инструмента для исследования магнитоэластических центров, позволяющего селективно регулировать их состояние.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госкомитета РФ по высшему образованию (проект 95-0-7.1-58).

Список литературы

- [1] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, Т.М. Перекалина, А.А. Урусовская. ФТТ **29**, 2, 467 (1987).
- [2] М.И. Молоцкий. ФТТ **33**, 10, 3111 (1991).
- [3] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, O.L. Kazakova et al. J. Alloys Compounds **211/212**, 548 (1994).
- [4] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, Е.А. Петржик. ФТТ **33**, 10, 3001 (1991).
- [5] Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов. Вестн. ТГУ **1**, 1, 99 (1996).
- [6] Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов. Письма в ЖЭТФ **61**, 3, 583 (1995).
- [7] Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов. Письма в ЖЭТФ **58**, 7, 189 (1993).
- [8] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, О.Л. Казакова. Письма в ЖЭТФ **62**, 4, 352 (1995).
- [9] М.А. Голосовский, Я.М. Соифер. ЖЭТФ **80**, 3, 2068 (1981).
- [10] Ч.Б. Лущик, А.Ч. Лущик. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. Наука, М. (1989). 452 с.
- [11] М.А. Golosovskii, Ya.M. Soifer. J. Chem. Sol. **44**, 4, 991 (1983).
- [12] М.А. Голосовский, Я.М. Соифер. ФТТ **24**, 5, 3327 (1982).