

УДК 539.4; 537.3

ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫЙ РАСПАД МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДИСЛОКАЦИОННЫХ СТОПОРОВ В КРИСТАЛЛАХ NaCl

© Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, С.Е. Жуликов,
М.В. Бадылевич, А.А. Дмитриевский

Golovin Y.I., Morgunov R.B., Zhulikov S.E., Badylevich M.V., Dmitrievsky A.A. The Photodissociation of Magnetosensitive Dislocated Obstacles in NaCl Crystals. It is discovered that the preliminary treatment of NaCl crystals by ultraviolet rays ($\lambda = 350$ nm) leads to a magnetoplastic effect decay. The cause of this decay is the photodissociation of magnetosensitive dislocation obstacles.

В [1] обнаружено смещение дислокаций в ионных кристаллах в постоянном магнитном поле (МП) с индукцией $B \sim 1$ 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 магниточувствительные 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 магнитное поле может изменять их состояние независимо от присутствия в кристалле свежевведенных дислокаций. Представляется важным обнаружение селективного способа влияния на точечные дефекты, который позволял бы изменять состояние магниточувствительных центров и не затрагивать состояние остальных. В этом и заключалась цель настоящей работы.

В экспериментах использовались номинально чистые необлученные кристаллы NaCl размером $2 \times 3 \times 10$ мм. 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 термопарой и оставалась постоянной с точностью $\pm 0,5$ К. Одиночные импульсы магнитного поля амплитудой 7 Т и длительностью 0,01 с создавали с помощью токового генератора. Введение свежих дислокаций осуществляли традиционным методом нанесения царапин на поверхность образца, а их положение

в кристалле фиксировали избирательным травлением.

Экспозиция кристаллов в МП приводила к смещению свежевведенных дислокаций, как и в [4, 5]. Средняя длина пробега дислокаций, вызванного действием МП L , составляла 15 ± 1 мкм (за вычетом фонового пробега $L_0 = 10 \pm 1$ мкм, 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 ~ 100 мкм, 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 нм в течение времени $t_1 = 15$ мин. После такой обработки и паузы длительностью $t_2 = 1$ мин в кристалл вводили свежие дислокации, подвергали травлению и помещали в МП (последовательность процедур см. 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 $\lambda_{ex} = 350$ нм, 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 увеличения, так и уменьшения 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 50 г/мм^2 и длительностью 200 мс). Величина 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 $\lambda_{\text{ex}} = 350 \text{ нм}$ 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 магнитоэластических дислокационных стопоров.

Стимулированный светом переход стопоров в новое состояние требовал не менее 15 мин освещения кристаллов для полного исчезновения магнитоэластического эффекта при $T = 293 \text{ К}$ (рис. 2). Выключение УФ приводило к восстановлению L' к значению, близкому к L . Т.е. происходила релаксация фотостимулированных состояний и самопроизвольная сенсибилизация кристалла к воздействию МП. Таким образом, стимулированное УФ освещением состояние магнитоэластических 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 свежобразованную поверхность наносились царапины. После этого производилась 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.

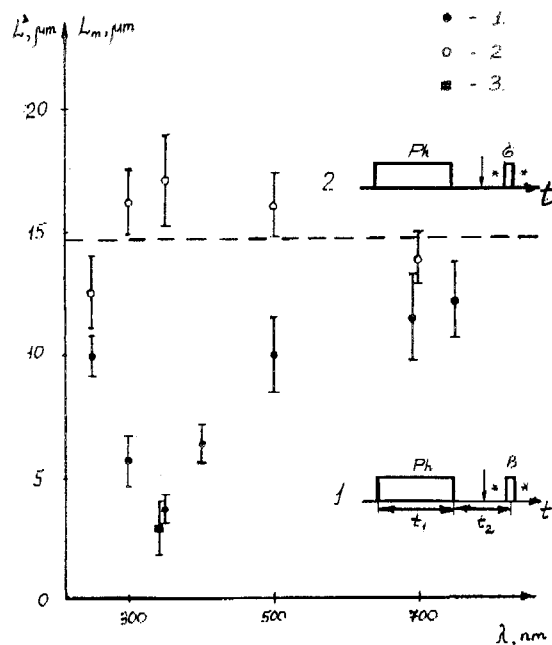


Рис. 1. Зависимости среднего пробега дислокаций, вызванного (1) - экспозицией кристалла в МП ($B = 7 \text{ Т}$, длительность 0,01 с) L ; (2) - механическим нагружением L_m , от длины волны света λ , используемого для предварительного возбуждения кристалла; (3) - пробег дислокаций в МП, введенных через поверхность, образованную после фотоэкспозиции кристалла. На врезке - последовательность экспериментальных процедур в разных типах опытов. (B - экспозиция в МП, Ph - фотоэкспозиция, σ - механическое нагружение, \downarrow - введение свежих дислокаций, * - травление.)

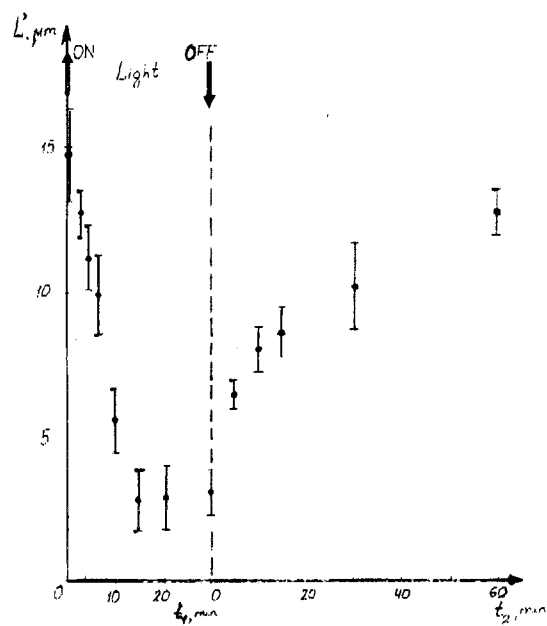


Рис. 2. Зависимости среднего пробега дислокаций, вызванного экспозицией кристалла в МП, от (1) - длительности t_1 предварительного освещения образца светом с $\lambda_{\text{ex}} = 350 \text{ нм}$, (2) - от длительности паузы t_2 между фотоэкспозицией продолжительностью $t_1 = 30 \text{ мин}$ ($\lambda_{\text{ex}} = 350 \text{ нм}$) и экспозицией кристалла в МП. (Стрелками отмечены моменты включения и выключения света.)

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

В отличие от рентгеновского облучения в [8], УФ освещение с энергией 3,55 эВ (при $\lambda = 350$ нм) не могло приводить к созданию радиационных дефектов [10]. Его действие заключалось в изменении состояния дефектов, уже имеющихся 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. 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 эластических свойств кристалла к МП и, вместе с тем, - увеличение пробега дислокаций при механическом нагружении. Следовательно, действию 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 $L^i(\lambda)$ 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, "поджи-

маются" 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 и 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альшиц В.И., Даринская Е.В., Перекалина Т.М., Урусовская А.А. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 2. С. 467.
2. Молоцкий М.И. // ФТТ. 1993. Т. 35. № 34. С. 11.
3. Alshits V.I., Darinskaya E.V., Kazakova O.L. et al. // J. of Alloys and Compounds. 1994. V. 211/212. P. 548.
4. Альшиц В.И., Даринская Е.В., Петржик Е.А. // ФТТ. 1991. Т. 33. С. 3001.
5. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. // Вестн. ТГУ. Сер. Естеств. и технич. науки. Тамбов, 1996. Т. 1. Вып. 2. С. 99.
6. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 61. С. 583.
7. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1993. Т. 58. С. 189.
8. Альшиц В.И., Даринская Е.В., Казакова О.Л. // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 62. С. 352.
9. Голосовский М.А., Соифер Я.М. // ЖЭТФ. 1981. Т. 80. С. 2068.
10. Луцник Ч.Б., Луцник А.Ч. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М.: Наука, 1989.
11. Golosovskii M.A., Soifer Ya.M. // J. Chem. Solids. 1983. Т. 44. С. 991.
12. Голосовский М.А., Соифер Я.М. // ФТТ. 1982. № 24. С. 3327.

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

Поступила в редакцию 15 декабря 1996 г.