

07,08

Влияние магнитного поля на радиационное упрочнение кристаллов LiF

© М.В. Галусташвили, М.Г. Абрамишвили, Д.Г. Дриаев, В.Г. Квачадзе

Институт физики им. Э. Андроникашвили,
Тбилиси, Грузия

E-mail: maxsvet@yahoo.com

(Поступила в Редакцию 7 декабря 2010 г.
В окончательной редакции 27 декабря 2010 г.)

Исследовалось изменение предела текучести и спектров оптического поглощения кристаллов LiF, подвергшихся одновременному воздействию слабого магнитного поля ($B = 0.7$ Т) и рентгеновского излучения. При очень низких дозах (до 15 мин) облучения наблюдается разупрочняющее действие магнитного поля; заметных изменений в электронных спектрах, в частности генерации F -центров, магнитное поле не вызывает.

Работа выполнена при финансовой поддержке Национального научного фонда Грузии (гранты № GNSF/ST08/4-414 и GNSF/ST07/4-194).

1. Введение

Как показал опыт наших предыдущих работ [1,2], совместное воздействие радиации и различных внешних полей даже при очень низких дозах ионизирующего излучения может вызвать различные трудно прогнозируемые комбинационные эффекты. Наиболее яркий пример — наведенная анизотропия, обуславливающая, в частности, пластификацию обычно охрупчиваемого после облучения кристалла фторида лития. В этой связи интересным представляется совмещение ионизирующего излучения и магнитного поля, особенно в свете магнитопластического эффекта (МПЭ) [3–5], заключающегося в изменении пластических свойств диамагнитных кристаллов в слабом магнитном поле (МП).

Физическая модель МПЭ в немагнитных кристаллах основана на концепции спин-зависимых электронных переходов во внешнем магнитном поле: поле снимает запрет на определенный спиновый переход, который радикально изменяет конфигурацию в системе дислокация–парамагнитный центр (стопор), что приводит к понижению (или повышению) локальных барьеров для движения дислокаций.

Необходимым условием МПЭ является наличие в кристалле неравновесных дефектов, одним из способов генерации которых является рентгеновское облучение. Как показано в [6], в щелочно-галогидных кристаллах магниточувствительные дефекты создаются уже при очень малых дозах рентгеновского облучения. Если во время облучения к кристаллу приложить МП, то оно может оказать воздействие как на порождаемые ионизирующим излучением электронные возбуждения, так и на процессы возникновения структурных дефектов при их распаде; тем самым состав генерируемых дефектов изменится, что в свою очередь должно отразиться на пластических характеристиках кристалла.

Прежде чем приступить к решению этой задачи, необходимо было исследовать имеющиеся в нашем распоряжении кристаллы на „магниточувствительность“, т.е. наличие МПЭ, поскольку величина эффекта зависит от содержания примеси сильно [4], вплоть до его подавления.

2. Методика эксперимента

Исследования проводились на монокристаллах LiF („Карл Цейсс“, Германия), содержащих примесь Ni ($6 \cdot 10^{-4}$ wt.%), а также примеси Fe, Pb, Si, Mn, Ca (каждая не более 10^{-4} wt.%). Образцы размерами $3 \times 1.5 \times 6$ (для механических испытаний) и $8 \times 8 \times 0.5$ mm (для оптических спектров) выкальвывались из монокристаллического слитка по плоскостям спайности (100). Образцы не отжигались, все измерения проводились при комнатной температуре.

Предел текучести определялся в „жесткой“ деформационной машине DY-22, все детали которой в области действия магнитного поля были изготовлены из немагнитных материалов. Деформирование сжатием проводилось с постоянной скоростью $3 \cdot 10^{-5}$ s $^{-1}$. Магнитное поле ($B = 0.7$ Т), вектор магнитной индукции \mathbf{B} которого был направлен перпендикулярно оси сжатия образца, создавалось постоянным магнитом. Спектры оптического поглощения измерялись в диапазоне 195–1100 nm на спектрофотометре СФ-29. Образцы облучались на рентгеновской установке УРС-55М (анод Fe, $\lambda = 1.94$ Å), напряжение и ток на трубке составляли $U = 50$ kV и $I = 20$ mA. Одновременно облучались два образца, которые располагались у противоположных выходов рентгеновского луча; к одному из них прикладывалось магнитное поле, вектор B которого был параллелен большой грани образца, расположенной перпендикулярно направлению X -лучей, второй (контрольный) образец облучался без МП.

3. Экспериментальные результаты и обсуждение

Магнитопластический эффект в исследуемых образцах LiF был зафиксирован по понижению в магнитном поле предела текучести σ_y . Измерения зависимостей напряжение–деформация $\sigma(\varepsilon)$ проводились в двух сериях экспериментов, различающихся тем, что МП включалось на разных стадиях опыта. Тем самым действию поля подвергались различное состояние и тип дефектов.

В ранее проведенных подобных исследованиях каждая кривая деформации $\sigma(\varepsilon)$ измерялась на отдельном образце, отражая его индивидуальные свойства, что обуславливало неизбежный разброс величин σ_y . С целью исключения такого разброса все зависимости $\sigma(\varepsilon)$ в каждой серии измерялись на одном многократно нагружаемом образце. Во избежание деформационного упрочнения, сопровождаемого образованием леса дислокаций (нечувствительных к МП стопоров), деформирование проводилось в узком интервале до начала стадии легкого скольжения. Каждая серия повторялась как минимум на трех образцах.

Дислокационная картина, фиксируемая химическим травлением поверхности деформированных образцов, показала, что МПЭ наблюдался только в том случае, когда в процессе деформирования работала пара плоскостей скольжения, в которой дислокационные линии **L** перпендикулярны вектору магнитной индукции **B**, в полном соответствии с заключением первооткрывателей МПЭ [3] и других авторов [4,5]. Отметим, что в наших экспериментах при полях, меньших 0.7 Т, и скоростях деформирования, больших $3 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, МПЭ надежно не воспроизводился.

В первой серии экспериментов образец предварительно деформировался до начальной стадии пластического течения, и фиксировался его исходный предел текучести ($\sigma_y \approx 3.5 \text{ МПа}$). Затем образец помещался в МП и вновь измерялся предел текучести. Далее поле убиралось и σ_y измерялся спустя различные промежутки времени (рис. 1). Эксперименты показали, что в области упругой деформации МП не приводит к изменению наклона диаграммы $\sigma(\varepsilon)$, тогда как предел текучести понижается более чем в 2 раза. При комнатной температуре σ_y релаксирует к исходному значению. Процесс протекает в два этапа: первый — кратковременный (< 1 h), когда происходит почти полное восстановление σ_y , и второй — медленная релаксация в течение суток к исходному значению.

Эти эксперименты были повторены в условиях, когда с абсолютной достоверностью задается и сохраняется в процессе деформации до $\sim 2\%$ необходимая ориентация вектора магнитной индукции **B** по отношению к линии дислокации **L** (**B** \perp **L**). С этой целью образец деформировался путем чистого сдвига по одной системе плоскостей скольжения с помощью разработанного нами способа [7]. Результаты полностью подтвердили данные, полученные в первой серии экспериментов.

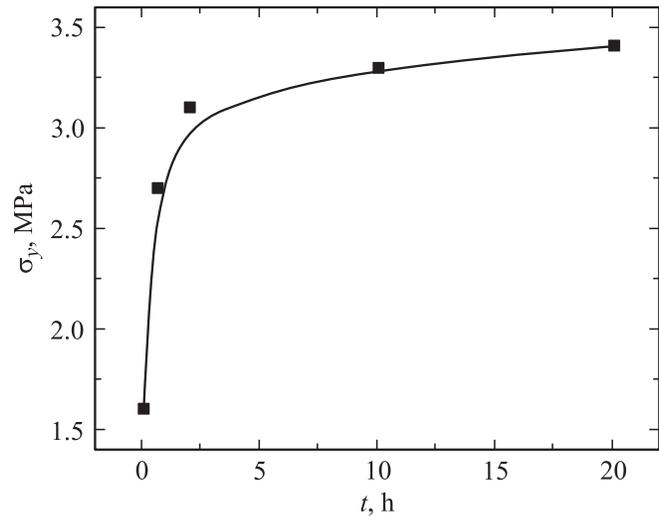


Рис. 1. Зависимость предела текучести σ_y кристаллов LiF от времени t , прошедшего после испытания в магнитном поле.

Во второй серии аналогичные эксперименты проводились на образцах, не подвергавшихся предварительной деформации. Степень разупрочнения в этом случае меньше (в 1.5 раза), однако восстановление исходного значения σ_y происходит за такое же время, как и в первом случае.

После этих предварительных испытаний, установивших наличие в исходных кристаллах магнитночувствительных дефектов, были проведены эксперименты для решения поставленной в настоящей работе задачи. Образцы были подвергнуты совместному воздействию МП и X-лучей и после облучения проведены измерения предела текучести (уже без МП), результаты которых представлены на рис. 2. При временах облучения до $t = 15 \text{ min}$ образцы, облученные в МП, показывают более низкий предел текучести, чем облученные без МП; максимальная разница составляет около 25% и с ростом дозы сходит на нет — через $\sim 10^3 \text{ s}$ кривые $\sigma_y(t)$ сливаются.

Таким образом, влияние МП на процесс радиационного упрочнения кристалла наблюдается лишь при малых дозах рентгеновского облучения. Этот результат (как и данные других авторов [6]) свидетельствуют о том, что новые магниточувствительные дефекты рождаются уже на самых ранних стадиях рентгеновского облучения.

Совместное действие рентгеновского излучения и МП не приводит ни к количественным, ни к качественным изменениям в электронных спектрах оптического поглощения образцов. При использованных нами малых дозах в спектрах наблюдалась только F-полоса. На вставке к рис. 2 приведены зависимости коэффициентов поглощения K в F-полосе (250 nm) от времени экспозиции кристаллов в поле X-лучей без МП и в МП. Видно полное совпадение этих зависимостей во всем интервале доз облучения.

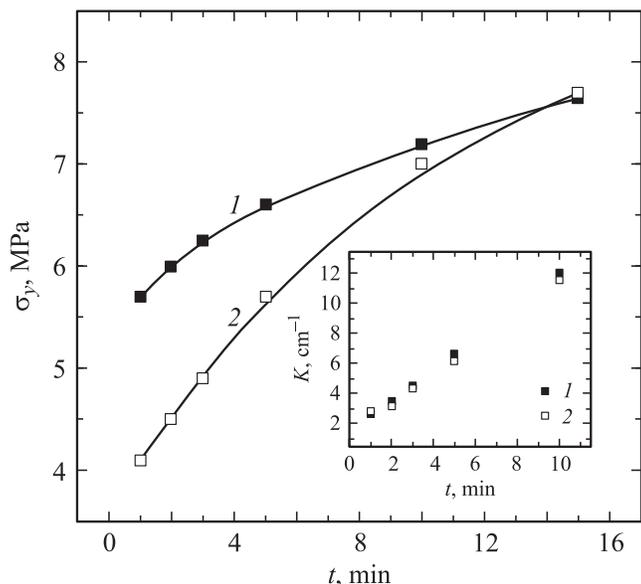


Рис. 2. Зависимость предела текучести σ_y кристаллов LiF от времени экспозиции t в поле X -излучения. 1 — без магнитного поля, 2 — в магнитном поле. На вставке — зависимость коэффициента поглощения K для F -центров (250 nm) от времени экспозиции t кристаллов LiF в поле X -излучения без магнитного поля (1) и в магнитном поле (2).

Тот факт, что в начале облучения превалирует процесс, приводящий к разупрочнению кристалла (рис. 2), а затем (по мере накопления радиационных дефектов) этот эффект сходит на нет, свидетельствует о существовании двух типов потенциальных стопоров для движущихся дислокаций. Первый — собственные радиационные дефекты, второй — видоизмененные магнитным полем (в процессе облучения) примесные комплексы, имеющиеся в кристалле изначально; как отмечено в [6], облучение делает примесь более магниточувствительной. Последнее может привести к понижению локальных барьеров для движения дислокаций и, следовательно, к уменьшению предела текучести. С возрастанием дозы возрастает концентрация и упрочняющая роль собственных радиационных дефектов, тогда как роль примесных комплексов уменьшается. Конкуренция этих двух процессов в конечном итоге за время $\sim 10^3$ s сводит суммарный эффект действия МП на радиационное упрочнение кристаллов LiF к нулю.

4. Заключение

Эксперименты, основанные на исследовании магнитоупрочняющего эффекта в диэлектрических кристаллах фтористого лития, показали, что при малых дозах рентгеновского облучения совмещенное с ним слабое магнитное поле, воздействуя на процесс дефектообразования, понижает степень радиационного упрочнения кристалла.

Список литературы

- [1] E.L. Andronikashvili, M.V. Galustashvili, R.D. Dokhner. In: Defects in insulating crystals. Proc. of the Int. Conf. Riga (1981). P. 432.
- [2] Э.Л. Андроникашвили, И.М. Паперно, М.В. Галусташвили, Э.М. Бархударов, М.И. Тактакишвили. ФТТ **21**, 9, 2739 (1979).
- [3] V.I. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva, E.A. Petrzhhik. In: Dislocations in solids / Ed. J.P. Hirth. Elsevier, Amsterdam (2008). V. 14. P. 333.
- [4] Ю.И. Головин. ФТТ **46**, 5, 7723 (2004).
- [5] Р.Б. Моргунов. УФН **174**, 2, 132 (2004).
- [6] В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, О.Л. Казакова. Письма в ЖЭТФ **62**, 4, 352 (1995).
- [7] М.В. Галусташвили, Д.Г. Дриаев, И.А. Политов, З.К. Саралидзе. ФТТ **30**, 5, 1533 (1988).