

УДК 548.0 : 537

© 1990

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

*П. Ф. Биаджи, Н. И. Гершензон, Д. О. Зиллимиани,
П. В. Манджгаладзе, О. А. Похотелов, В. Сгринья,
З. Т. Челидзе*

Исследуется влияние низкочастотного переменного и постоянного магнитных полей на спектр высокочастотного акустического сигнала, проходящего через образец монокристалла LiF, подвергающегося деформированию.

1. В работах [1, 2] было показано, что достаточно сильное ($\sim 10^5$ А/м) магнитное поле может оказывать заметное воздействие на процессы трещинообразования при деформировании ионных кристаллов. Одно из возможных объяснений этого явления представляется следующей гипотетической схемой [1, 2]. При образовании трещин их борта заряжаются [3], что вызывает появление в устье трещины электрического поля E ($\sim 10^4 - 10^6$ В/м [3, 4]). Электрические силы притяжения бортов трещин могут быть сравнимы с силами поверхностного натяжения, которые необходимо преодолеть для раскрытия трещины [1]. Отсюда следует, что динамика релаксации зарядов с бортов трещин может влиять на динамику разрушения образца. Этот вывод подтверждается, в частности, экспериментами по облучению ионных кристаллов ультрафиолетовым излучением [5]. При облучении релаксация зарядов облегчается за счет поверхностного фотоэффекта. Электростатическая часть энергии разрушения становится меньше, чем без облучения; прочность образца должна уменьшиться, что и наблюдается в эксперименте [5]. Электрическое поле в устье трещины способствует релаксации зарядов, которая в основном осуществляется электронами, «перелетающими» вдоль силовых линий с борта на борт. При наличии магнитного поля (МП) B электроны дрейфуют в направлении вектора $E \times B$, что затрудняет релаксацию зарядов и тем самым увеличивает эффективную энергию поверхностного натяжения — образец становится прочнее [2].

Цель настоящей работы — дальнейшее изучение влияния МП на свойства монокристаллов LiF. Для этого анализируется искажение спектра монохроматических высокочастотных акустических колебаний, пропускаемых через образец при его деформировании в постоянном и низкочастотном переменном полях.

2. На рис. 1 показана блок-схема эксперимента. Отожженный образец кристалла LiF (1) размером $\sim 18 \times 12 \times 6$ мм помещался в нагружающее устройство, в пуансоны 2 которого были вмонтированы источник 3 и приемник 4 ультразвуковых продольных волн, изготовленных из пьезо-керамических элементов ЦТС-19 дискообразной формы диаметром 10 и толщиной 3 мм. Высокочастотный генератор гармонических колебаний 5 нагружался на пьезопреобразователь 3. Продольные волны зондируют

щего сигнала на частоте 50 кГц,¹ прошедшие через образец и регистрируемые приемником 4, наблюдались на осциллографе 6, параллельно которому были включены анализаторы спектра 7, 8. Один из них 7 работал в полосе частот ± 500 Гц относительно частоты зондирующего сигнала, другой 8 — в широкой полосе (0—200 кГц).

Опорный сигнал низкой частоты (100 Гц) вырабатывался генератором гармонических колебаний 9 и через усилитель мощности 10 подавался на соленоидальные электромагниты 11, которые создавали переменное МП амплитуды $\sim 10^5$ А/м. Контроль сигналов, подаваемых на соленоиды, осуществлялся осциллографом 12.

3. Образец подвергался медленно возрастающей механической нагрузке. Одновременно наблюдался спектр зондирующего ультразвукового сигнала при включенном и выключенном МП. После серии экспериментов получены следующие результаты. В начале нагружения образца спектр зондирующего сигнала не изменялся при включении ПМ и наблюдалась лишь основная гармоника с частотой $F_0 = 50$ кГц (рис. 2, а). С началом помутнения кристалла, свидетельствующего о зарождении множества дислокаций и микротрещин [6, 7], в спектре ультразвуковой волны, изме-

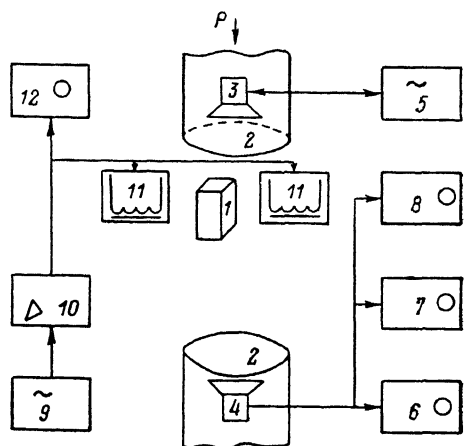


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

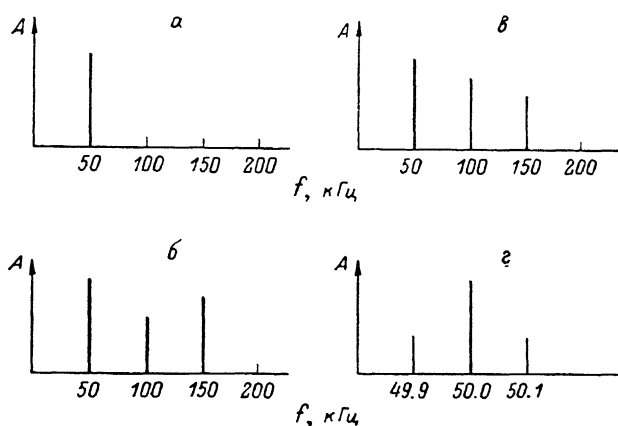


Рис. 2. Спектрограмма ультразвуковой продольной волны, прошедшей через образец. а — без магнитного поля (до зарождения дефектов в образце), б — без магнитного поля (после зарождения дефектов в образце; широкая полоса регистрации), в — в магнитном поле (после зарождения дефектов в образце; широкая полоса регистрации), г — в магнитном поле (после зарождения дефектов в образце; узкая полоса регистрации).

ряемом анализатором 8, появились высшие гармоники (рис. 2, б), что свидетельствует о появлении нелинейных эффектов при прохождении зондирующего сигнала через образец [8, 9]. При включении постоянного МП амплитуды гармоник заметно менялись, в среднем на 10 % (рис. 2, в). Наблюдалось как уменьшение, так и увеличение амплитуд гармоник. Происходило как бы перераспределение энергии между гармониками, причем характер этого «перераспределения» менялся от образца к об-

¹ Выбранная частота не совпадала с максимумами и минимумами на АЧХ системы датчик—образец.

разду. При фиксации механической нагрузки амплитуды высших гармоник за время 30—40 мин возвращались практически к первоначальному состоянию, какое они имели до включения.

В переменном МП с началом помутнения кристалла в спектре, контролируемом анализатором 7, появились боковые частоты $F_0 + f_m$, $F_0 - f_m$, где $f_m = 100$ Гц — частота изменения МП (рис. 2, в). Амплитуда этих колебаний скачкообразно росла с увеличением нагрузки на образец. При выключении МП боковые гармоники пропадали. На определенном этапе после появления боковых гармоник прекращали увеличение механической нагрузки на образец, поддерживая ее постоянной. При этом наблюдалось постепенное уменьшение амплитуд боковых гармоник. За 25—30 мин амплитуды уменьшались в 6—7 раз. Повторное увеличение амплитуд боковых гармоник могло быть достигнуто лишь в том случае, когда повышение механической нагрузки на образец вызывало образование новых дефектов в кристалле (по некоторой аналогии с эффектом Кайзера [10]).

Эффект модуляции зондирующего сигнала, вообще говоря, мог быть вызван низкочастотными акустическими колебаниями, генерируемыми соленоидами электромагнита из-за эффекта магнитострикции. Для исключения этой помехи соленоида были акустически развязаны с нагружающим устройством и образцом, хотя это не исключало возможности передачи акустических колебаний по воздуху. Для полной уверенности в отсутствии влияния акустического воздействия со стороны соленоидов были проведены дополнительные эксперименты. Образец LiF заменялся стеклянным образцом, и вышеописанная процедура исследований повторялась. Давление на стеклянный образец в 4—5 раз превышало то давление, которое достигалось в экспериментах с образцами из LiF. Включение и выключение магнитного поля не отражались на спектре зондирующих колебаний.²

Таким образом, в результате исследований установлено, что при непрерывном деформировании монокристаллов LiF на стадии появления микротрещин происходят изменение амплитуды высших гармоник в спектре зондирующего акустического сигнала при включении постоянного МП, появление модуляционных боковых частот вблизи основной частоты при включении переменного МП.

При сохранении постоянной нагрузки на образец эффект влияния МП (как переменного, так и постоянного) на спектр акустического сигнала исчезает за характерное время 20—40 мин. Возрастание нагрузки после остановки восстанавливает эффект влияния МП.

4. Объяснение полученных эффектов может быть дано в рамках гипотетической схемы, описанной в начале статьи. При образовании зародышевых микротрещин в последних возникают большие электрические поля, препятствующие дальнейшему раздвижению бортов трещин. Величина поля со временем уменьшается по мере релаксации разноименных зарядов на бортах трещин. В МП релаксация зарядов затруднена, так как электроны уже не могут двигаться вдоль силовых линий электрического поля. В результате напряженно-деформированное состояние материала образца в окрестности трещин разное в случае отсутствия или наличия МП. Когда зародышевых микротрещин становится достаточно, эти локальные неоднородности изменяют эффективные упругие модули всего образца. Мы можем это утверждать потому, что длина волны зондирующего сигнала больше размеров образца. Медленное изменение величины МП (за один период колебания МП через образец проходит $F_0/f_{\max} = 500$ акустических волн) сопровождается изменением условий распространения. Параметрическое воздействие на среду приводит к модуляции акустического сигнала и появлению боковых частот в его спектре.

Что касается эффекта влияния постоянного МП на высокие гармоники, т. е. на изменение параметров нелинейности в законе Гука при прохожде-

² Дополнительным доказательством отсутствия влияния колебаний соленоидов является эффект загущения амплитуды боковых гармоник при фиксированной на грузке.

нии акустической волны, то его исследование целесообразно продолжить после более детального изучения самой природы нелинейности при возникновении микротрещин.

Исчезновение влияния МП за характерное время ~ 30 мин при фиксированной нагрузке отражает факт релаксации заряда. По-видимому, в «грязных» кристаллах с достаточно хорошей проводимостью или при высоких температурах и вообще при любых условиях, способствующих более быстрой релаксации зарядов на бортах трещин, влияние МП будет меньше. В случае же, когда релаксация заморожена, например при низких температурах, возможно усиление влияния МП на механические свойства ионных кристаллов при их деформировании.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гершензон Н. И., Зилпимиани Д. О., Манджгаладзе П. В., Похотелов О. А. // ФТТ. 1986. Т. 28, № 3. С. 708—712.
- [2] Гершензон Н. И., Зилпимиани Д. О., Манджгаладзе П. В., Похотелов О. М. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 7. С. 2209—2211.
- [3] Финкель В. М., Тялин Ю. И., Головин Ю. И. и др. // ФТТ. 1979. Т. 21. № 3. С. 1943—1947.
- [4] Финкель В. М., Тялин Ю. И., Колодин А. Н., Тялина Л. Н. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 9. С. 2908—2913.
- [5] Гершензон Н. И., Зилпимиани Д. О., Манджгаладзе П. В., Похотелов О. А. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 2. С. 281—283.
- [6] Урусовская А. А. / УФН, 1968. Т. 96. № 1. С. 39—60.
- [7] Смирнов Б. И. Дислокационная структура и упрочнение кристаллов. Л., 1981. С. 235.
- [8] Алеппин А. С., Кузнецов В. В., Циммерман В. В., Гинзбург В. С. // Проблемы нелинейной сейсмологии. М., 1987. С. 263—267.
- [9] Бойко Б. Д., Вербицкий Т. З., Чигинь А. И. // Математические методы и физико-механические поля. В. 12. Киев, 1980. С. 110—113.
- [10] Грешников В. А., Дробот Ю. Б. Акустическая эмиссия. М., 1976. С. 272.

Институт физики земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
19 февраля 1990 г.