

- [7] Шербаков Ю. И. // Деп. в ВИНТИ. 1989. № 5533-Д89. 7 с.  
 [8] Алексеев В. В., Дружинина В. В., Писарев Р. В., Шкарубский В. В. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 4. С. 1048—1054.  
 [9] Барьярхтар В. Г., Иванов Б. А., Четкин М. В. // УФН. 1985. Т. 46. № 3. С. 417—458.  
 [10] Jantz W., Sandercock J. R., Wettling W. // J. Phys. C: Solid State Phys. 1976. V. 9. N 11. P. 2229—2240.  
 [11] Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. Н. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.  
 [12] Бердникова Е. В., Пасарев Р. В. // ФТТ. 1976. Т. 18. № 1. С. 81—87.

Хабаровский  
 политехнический институт

Поступило в Редакцию  
 25 октября 1990 г.  
 В окончательной редакции  
 21 августа 1991 г.

УДК 539.16.04; 620.178.152.341.4

© Физика твердого тела, том 34, № 1, 1992  
 Solid State Physics, vol. 34, N 1, 1992

## ДЕЙСТВИЕ $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Г. Е. Гладышев

Облучение легированных щелочно-галлоидных кристаллов (ЩГК) приводит к образованию структурных и электронных дефектов и к изменению состояния примеси. Такие изменения отражаются практически на всех свойствах кристалла, в том числе и на механических. Одним из способов оценки механических свойств является измерение микротвердости. В процессе измерения микротвердости происходит перемещение пластов испытываемого материала за счет движения дислокаций. При этом значение микротвердости тем выше, чем больше концентрация дефектов, эффективно взаимодействующих с дислокациями.

Для всех исследованных нами кристаллов (галогениды калия с примесью свинца, европия, бария) микротвердость  $H$  легированных кристаллов выше, чем чистых. С увеличением концентрации примеси ( $C$ )  $H$  возрастает. На рис. 1 представлены зависимости  $H=f(C)$  для состаренных и закаленных кристаллов  $KCl-PbCl_2$ <sup>1</sup>. Небольшое плато со стороны малых концентраций вызвано упрочняющим действием неконтролируемых примесей. Аналогичная зависимость наблюдается и после закалки образцов. Следует отметить, что для галогенидов калия ( $KNaI$ ), легированных свинцом, закалка приводит к понижению  $H$ , а для кристаллов с примесью бария — к возрастанию. Слабо влияет закалка на микротвердость  $KNaI-Eu^{2+}$ .

Для всех исследованных образцов после закалки во время старения (т. е. распада твердого раствора) при комнатной или несколько большей температуре микротвердость сперва возрастает, а затем при временах, больших нескольких недель, понижается. Такое изменение прочности связано с непрерывным изменением агрегатного состояния примеси и свидетельствует о том, что наибольшее упрочнение достигается при образовании ассоциатов некоторых средних размеров. Об этом же говорят и данные других авторов. Так, в работе [1] указывается, что максимальное значение  $H$  для  $NaCl-Eu^{2+}$  отвечает образованию метастабильных ассоциатов европия, а минимальное — фазовым выделением. По данным авторов работы [2], упрочняющий эффект в  $CsI$  дают примеси, кото-

<sup>1</sup> К состаренным относятся образцы, хранившиеся при комнатной температуре более года после выращивания. Закалка производилась охлаждением на металлической подложке при комнатной температуре образцов, предварительно отожженных 15 мин при 500 °С.

рые образуют большее число мелких выделений, а разупрочняющий — меньшее число крупных выделений.

Облучение  $\gamma$ -излучением  $\text{Co}^{60}$  (0.4 Гр/с) приводит к заметному изменению микротвердости исследованных кристаллов. При этом если микротвердость закаленного образца ниже, чем состаренного, то и концентрация  $F$ -центров при тех же дозах в закаленных кристаллах меньше, чем в состаренных ( $\text{KNaI}-\text{Pb}^{2+}$ ). И наоборот, повышение микротвердости в результате закалки сопровождается ростом эффективности образования  $F$ -центров ( $\text{KNaI}-\text{Ba}^{2+}$ ).

При облучении состаренных кристаллов независимо от природы примеси с увеличением поглощенной дозы  $D$  микротвердость возрастает. При этом скорость упрочнения понижается, а при больших дозах  $H$  изменяется незначительно (рис. 2). Зависимость  $H=f(D)$  для закаленных образцов имеет более

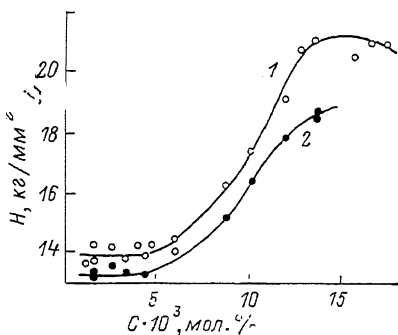


Рис. 1. Зависимости микротвердости  $\text{KCl}-\text{PbCl}_2$  от концентрации свинца для состаренных (1) и закаленных (2) образцов.

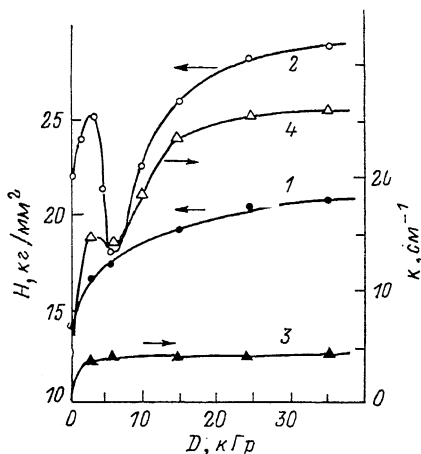


Рис. 2. Зависимости микротвердости (1, 2) и коэффициента поглощения (3, 4) в  $F$ -полосе от поглощенной дозы для состаренных (1, 3) и закаленных (2, 4) образцов  $\text{KCl}-\text{BaCl}_2$ .

сложный вид. В этом случае, как видно на рис. 2 (кривая 2), в начале облучения при дозах 1—3 кГр микротвердость достигает максимума, а затем, пройдя минимум, вновь возрастает. Чем выше концентрация примеси, тем экстремумы выражены сильнее. Наиболее ярко отмеченный эффект проявляется на кристаллах  $\text{KNaI}-\text{Ba}^{2+}$ .

Возрастание микротвердости при облучении может быть обусловлено следующими причинами: образованием упрочняющих примесных и матричных радиационных дефектов и агрегацией примеси с образованием ассоциатов, эффективно взаимодействующих с дислокациями. Исследования по влиянию ионизирующего излучения на оптические свойства ЩГК, легированных двухвалентными катионами, показали [3, 4], что примесные диполи являются эффективными ловушками для  $H$ -центров. Поэтому первоначальный рост микротвердости обусловлен, вероятнее всего, первой причиной. Т. е. в начале облучения происходит интенсивный захват  $H$ -центров примесными диполями с образованием комплексов  $\text{Me}^{2+}-V_c-(H\text{-центр})_n$ . Такой комплекс обладает повышенной способностью к торможению движения дислокаций по отношению к свободному диполю  $\text{Me}^{2+}-V_c$ , так как содержит междоузельные атомы ( $H$ -центры), которые вызывают упругие напряжения в кристаллической решетке.

Понижение микротвердости связано, по нашему мнению, с разрушением комплексов. Во время облучения одновременно с подвижными  $H$ -центрами в ЩГК генерируется такое же число малоподвижных  $F$ -центров. В процессе

облучения концентрация  $F$ -центров и вакансий возрастает, и при некоторой поглощенной дозе их поток к комплексам  $Me^{2+}-V_c^-(H\text{-центр})$  начинает превышать скорость образования комплексов. В результате этого микротвердость начинает понижаться. В пользу такого механизма разупорядочения свидетельствует вид кривой накопления  $F$ -центров. Именно при дозах в несколько кГр наблюдается снижение скорости образования  $F$ -центров (рис. 2, кривая 4), которые гибнут в результате рекомбинации с  $H$ -центрами, принадлежащими комплексам.

Повторное упрочнение при больших дозах вызвано, по-видимому, агрегацией примеси (аналогично упрочнению при старении без облучения), которая может стимулироваться радиацией. Дополнительный вклад в увеличение  $H$  вносит накопление радиационных дефектов матрицы, представляющих собой скопление  $H$ -центров, а не  $F$ -центров и вакансий [5].

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Carrillo E. H., Garcia J. S., Sonllard J., Rubio J. O. // Jap. J. Appl. Phys. 1983. V. 22. N 2. P. L301—L303.
- [2] Urusovskaya A. A., Sizova N. L., Rachkov I. A., Zakharin Ya. A., Dobryak V. M. // Phys. Stat. Sol. (a). 1977. V. 41. N 2. P. 443—450.
- [3] Шуралева Е. И., Ивахненко П. С. Физика твердого тела. Сб. Харьков, 1975. С. 40—44.
- [4] Garcia J. S., Hernandez J. A., Murrieta H. S., Rubio J. O. // Solid. State Comm. 1983. V. 47. N 7. P. 515—518.
- [5] Nadeau J. S. // J. Appl. Phys. 1962. V. 33. N 12. P. 3480—3486.

Технологический институт  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
14 мая 1991 г.  
В окончательной редакции  
22 августа 1991 г.

© Физика твердого тела, том 34, № 1, 1992  
Solid State Physics, vol. 34, N 1, 1992

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ

*Р. Г. Крышталь, А. В. Медведь*

В работе [1] теоретически рассматривалось явление, связанное с распространением нелинейных поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ) в пленках магнетиков при прохождении нелинейных ПМСВ через отражательную решетку, созданную распространяющейся в пленке магнетика поверхностной акустической волной (ПАВ). Об экспериментальных подтверждениях существования таких эффектов, насколько нам известно, к настоящему времени сообщений в печати не было.

В настоящей работе приводятся некоторые экспериментальные результаты исследования коллинеарного рассеяния нелинейных ПМСВ на ПАВ в структуре пленка железо-иттриевого граната (ЖИГ)—подложка из галлий-гадолиниевое граната (ГГГ). В частности, обнаружены смещение резонансной частоты и уменьшение коэффициента отражения ПМСВ при увеличении мощности падающей ПМСВ, что качественно согласуется с результатами теоретической работы [1].