

Письма в ЖТФ, том 19, вып. 11

12 июня 1993 г.

05; 07

© 1993

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ
 LiB_3O_5 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

И.Н. О г о р о д н и к о в, В.Ю. И в а н о в,
А.Ю. К у з н е ц о в, А.В. К р у ж а л о в,
В.А. М а с л о в

Освоение синтеза объемных кристаллов LiB_3O_5 (LBO), установление значительного нелинейного коэффициента и высокого порога оптического повреждения ($24 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$) [1], сравнимых с таковыми для лучших представителей кристаллов преобразователей нелинейной оптики сегодняшнего дня, обусловили повышенный интерес к более детальному изучению их свойств. Однако число работ, где так или иначе затронуты вопросы образования, эволюции и свойств дефектов LBO крайне мало [2, 3]. В то же время создание дефектов в кристалле-преобразователе под действием лучевых, радиационных и иных нагрузок является одним из лимитирующих факторов их практического использования. Известно, что появление дефектов ведет к ухудшению нелинейных свойств, „старению“ кристаллов, тогда как специфика основной сферы их применения – силовая оптика – предполагает интенсивное дефектообразование. Как правило, такие дефекты не являются элементарными, они сложны по своей структуре и свойствам. Их образование и состав определяются многими приводящими условиями. В связи с этим даже для самых изученных представителей семейства нелинейных кристаллов нет единой картины дефектообразования, способов нейтрализации вредных воздействий дефектов.

Одним из действенных путей исследования дефектности кристаллов является контролируемое создание и комплексное исследование элементарных дефектов. К зарекомендовавшим себя способам целенаправленного создания дефектов следует отнести легирование, термохимическую обработку и средства радиационной технологии

(воздействие различными видами корпускулярных и фотонных излучений).

В работе [3] нами впервые сообщено о люминесцентном проявлении и термоактивационных свойствах нескольких типов дефектов в кристаллах $LiBO$ после воздействия рентгеновского излучения в области 77–350 К. В настоящем сообщении приведены результаты исследования процесса накопления дефектов в кристаллах $LiBO$ под действием электронного пучка.

В работе использованы кристаллы $LiBO$ оптического качества, выращенные модифицированным раствор-расплавным методом с вытягиванием затравки [4]. Средний размер выращенных кристаллов составил $50 \times 40 \times 25$ мм³. Основные кристаллографические параметры $LiBO$ соответствуют данным работы [5]. Спектрально-люминесцентные и термоактивационные измерения выполнены на автоматизированном комплексе, включающем малоинерционный азотный криостат с вакуумом не хуже 10^{-3} Па, монохроматор МДР-2, ФЭУ-106 в режиме счета фотонов [6]. В качестве источника электронных пучков использован аппарат МИРА-2Д с параметрами импульса $I = 1 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$, $\tau_{\text{имп}} = 15 \text{ нс}$, $E_e = 200 \text{ кэВ}$, флюенс около 10^{11} см^{-2} . Оценка поглощенной дозы проведена с использованием стандартного твердотельного дозиметра ДТГ-4 ($LiF : Mg, Ti$). Электронная бомбардировка проводилась в вакууме при 77 К.

Общая картина термостимулированной люминесценции кристаллов $LiBO$ после электронной бомбардировки соответствует таковой для рентгеновского возбуждения [3]. Имеют место два основных изолированных пика ТСЛ при 130 и 240 К и два более слабых пика 180 и 330 К. На рис. 1 показана динамика накопления центров захвата. В качестве меры контроля за концентрацией дефектов использована амплитуда соответствующих пиков ТСЛ. На кривых накопления дефектов можно выделить характерные участки.

В области флюенсов $10^{11} - 10^{14} \text{ см}^{-2}$ накопление всех дефектов происходит с одинаковой скоростью по линейному закону (рис. 1). Факт накопления четырех типов дефектов с одной и той же скоростью в широком диапазоне флюенсов не является тривиальным результатом и требует специального обсуждения. Доминирующие пики при 130 и 240 К достаточно хорошо изолированы, и одинаковая скорость их накопления может свидетельствовать о генетической связи соответствующих радиационных дефектов, либо отражает тот факт, что рост интенсивности пиков ТСЛ с ростом флюенса контролируется ростом концентрации центров свечения. Однако ожидаемого роста интенсивности стационарной люминесценции $LiBO$ при этом не зафиксировано. Поэтому можно предположить, что пики ТСЛ при 130 и 240 К связаны с комплементарными дефектами. Слабые пики ТСЛ при 170 и 330 К расположены на „крыльях“ интенсивных пиков при 130 и 240 К и не могут быть выделены на их фоне достаточно точно. Поэтому рост интенсивности слабых пиков при облучении может отражать, в некоторой степени, кинетику роста основных пиков ТСЛ.

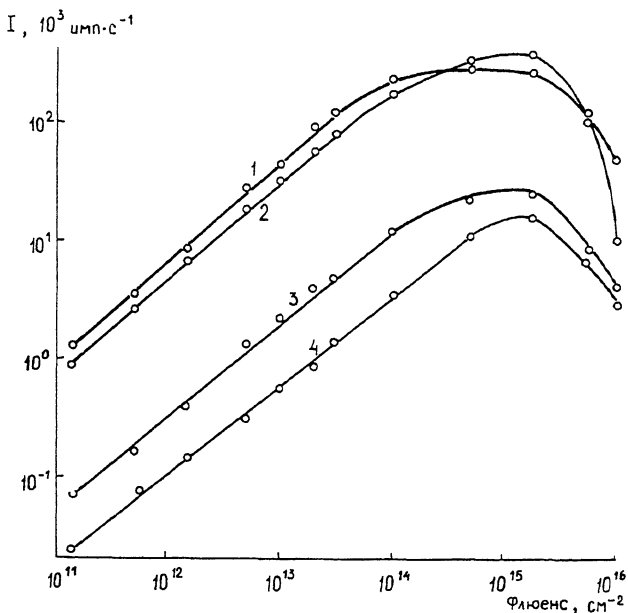


Рис. 1. Изменение интенсивности пиков ТСЛ при 130 - (2), 170 - (3), 240 - (1) и 320 К - (4) в зависимости от флюенса электронов при 77 К.

Диапазон флюенсов 10^{15} - 10^{16} см^{-2} соответствует прекращению роста интенсивности пиков ТСЛ и последующему ее снижению. При этом наблюдается образование макроскопических дефектов, имеющих вид разветвленных трещин (рис. 2), хорошо видимых невооруженным глазом. Следует отметить, что спектральный состав ТСЛ, равно как и спектр стационарной люминесценции в области флюенсов 10^{15} - 10^{16} см^{-2} , остается неизменным. Облучение кристаллов *LiBO* при 300 К флюенсом электронов 10^{16} см^{-2} не приводит к образованию подобных дефектов. Анализ рис. 2 показывает, что при флюенсе $5 \cdot 10^{15}$ см^{-2} (начальный участок спада кривой накопления, рис. 1) макроскопические дефекты расположены в области поверхности и имеют характерный вид магистральной линии (М) и отходящих от нее вторичных трещин (Т). При увеличении флюенса до 10^{16} см^{-2} поверхностные макродефекты не увеличиваются в размерах, но наблюдается их распространение в глубину. Подобная картина хорошо известна для некоторых диэлектриков при облучении электронами (т.н. „фигуры Лихтенберга“). Показано [7], что фигуры Лихтенберга образуются при накоплении заряда в диэлектрике во время облучения электронами и последую-

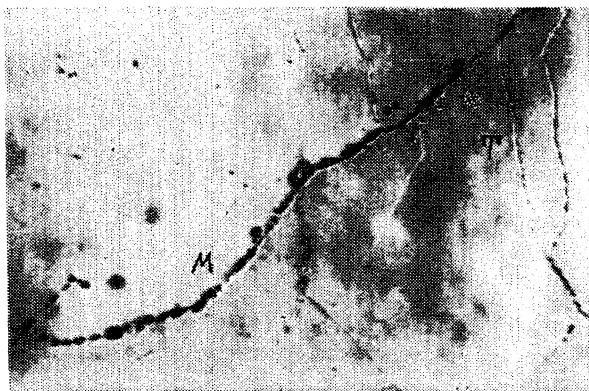


Рис. 2. Фигуры Лихтенберга на кристаллах LBO , облученных электронами при 77 К флюенсом $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ при увеличении $\times 300$.

щего электрического пробоя. Наличие радиационных дефектов, имеющих эффективный электрический заряд относительно решетки, обуславливает появление дополнительного электрического заряда, и тем самым увеличивает скорость его накопления. Поэтому отсутствие заметных фигур Лихтенберга для кристаллов LBO , облученных при 300 К флюенсом электронов 10^{16} см^{-2} , позволяет сделать вывод об участии низкотемпературных радиационных дефектов кристаллов LBO в процессе накопления электрического заряда, с последующим пробоем и образованием макроскопических дефектов кристалла. В этой связи, спад кривой накопления (рис. 1) может быть связан с эволюцией соответствующих радиационных дефектов. Величина поглощенной дозы при флюенсе 10^{16} см^{-2} составила около $3 \cdot 10^4 \text{ Гр}$, что соответствует $16 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$. Указанное значение близко к порогу оптического повреждения ($\lambda = 1063 \text{ мкм}$) кристаллов LBO [1].

Таким образом, с использованием метода термостимулированной люминесценции изучено накопление радиационных дефектов в кристаллах LBO под действием электронных пучков. Сделан вывод об участии радиационных дефектов в накоплении электрического заряда при облучении электронами и последующего разрушения кристаллов LBO в результате электрического пробоя. Рассмотренные процессы могут, в известной степени, моделировать образование дефектов в кристалле-преобразователе на основе LBO под действием мощных лазерных импульсов.

Авторы признательны М.С. Аксельроду за помощь в оценке поглощенной дозы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S h e n Ch., W u Y., J i a n g A. et al. // J. Opt. Soc. Amer. B. 1989. V. 6. N 4. P. 616-625.
- [2] Х о д я к о в А.А., Д ж а ф а р о в М.Х., К у р и л е н - к о Л.Н. и др. // ЖХФ. 1991. № 9. С. 1561-2563.
- [3] О г о р о д н и к о в И.Н., И в а н о в В.Ю., К у з н е - ц о в А.Ю. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 2. С. 14-17.
- [4] M a s l o v V.A., O l k h o v a y a L.A., O s i - k o V.V. et al. // 10-th Int. Confer. on Cryst. Growth: Oral Presentation Abstracts. Sun-Diego, USA, 1992. P. 11.
- [5] K o n i g H., Н о р р е R. // Z. Anorg. Allg. Chem. Amer. B. 1989. V. 439. P. 71-79.
- [6] О г о р о д н и к о в И.Н., К у л е с с к и й А.Р., Г и - н и я т у л и н К.Н. Химия твердого тела. Межвуз. сб. Свердловск, 1986. С. 70-77.
- [7] F u n u t a J., Н и р а о к а Е., О к а м о - t o S. // J. Appl. Phys. 1966. V. 37. P. 1073-1077.

Уральский Государственный
технический университет,
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
9 мая 1993 г.