

Новые эффекты долговременной памяти в кристаллах LiNbO_3

© Б.Б. Педько, Э.В. Лебедев, И.Л. Кислова, Т.Р. Волк*

Тверской государственный университет,
170000 Тверь, Россия

* Институт кристаллографии Российской академии наук,
117333 Москва, Россия

(Поступила в Редакцию 25 июля 1997 г.)

Обнаружена новая возможность записи информации путем изменения потенциального рельефа на поверхности z -срезов кристаллов LiNbO_3 . Исследовано влияние различного рода внешних воздействий на скорость распада оптических изображений, записанных вышеупомянутым способом, а также изучена возможность записи информации на кристаллах с примесями переходных металлов.

Известно, что для практического применения кристаллов ниобата лития существенную роль играет оптическая однородность, характеризующая постоянство оптических констант по объему образца [1]. Оптическая неоднородность, например вариация показателей преломления, может быть обусловлена как структурными неоднородностями и изменением состава кристаллов [2], так и проявляться в виде эффекта локального обратимого изменения двойного лучепреломления при освещении кристаллов ниобата лития лазерным лучом [3]. Вид и поведение оптических неоднородностей зависят от ряда внешних факторов: наличия освещения кристалла, термических, электрических, упругих полей и др. [1]. Известно, что фоторефрактивный эффект используется для голографической записи информации [3], поскольку обеспечивает возможность перезаписи информации, что невозможно при модуляции показателей преломления за счет структурных неоднородностей кристалла.

Нами поляризационно-оптическим методом исследовались оптическая однородность монокристаллов ниобата лития, кинетика ее поведения в интервале температур 20–200°C и связь этих характеристик с выявляемой различными методами доменной и дефектной структурой кристаллов [4,5]. При этом нами при наблюдении в поляризованном свете обнаружено следующее явление: во время нагревания исследуемого кристалла с электродами из аквадага в виде двух параллельных полос, нанесенными на поверхность полярного среза на расстоянии 0.5–3 mm, в интервале температур порядка 40–70°C в межэлектродном зазоре формируется оптическая картина, распределение освещенности в которой определяется формой нанесенных электродов. Наблюдение проводилось в отсутствие внешнего электрического поля. После охлаждения кристалла и удаления электродов при наблюдении в скрещенных поляроидах наблюдается "оптический след" от удаленных электродов.

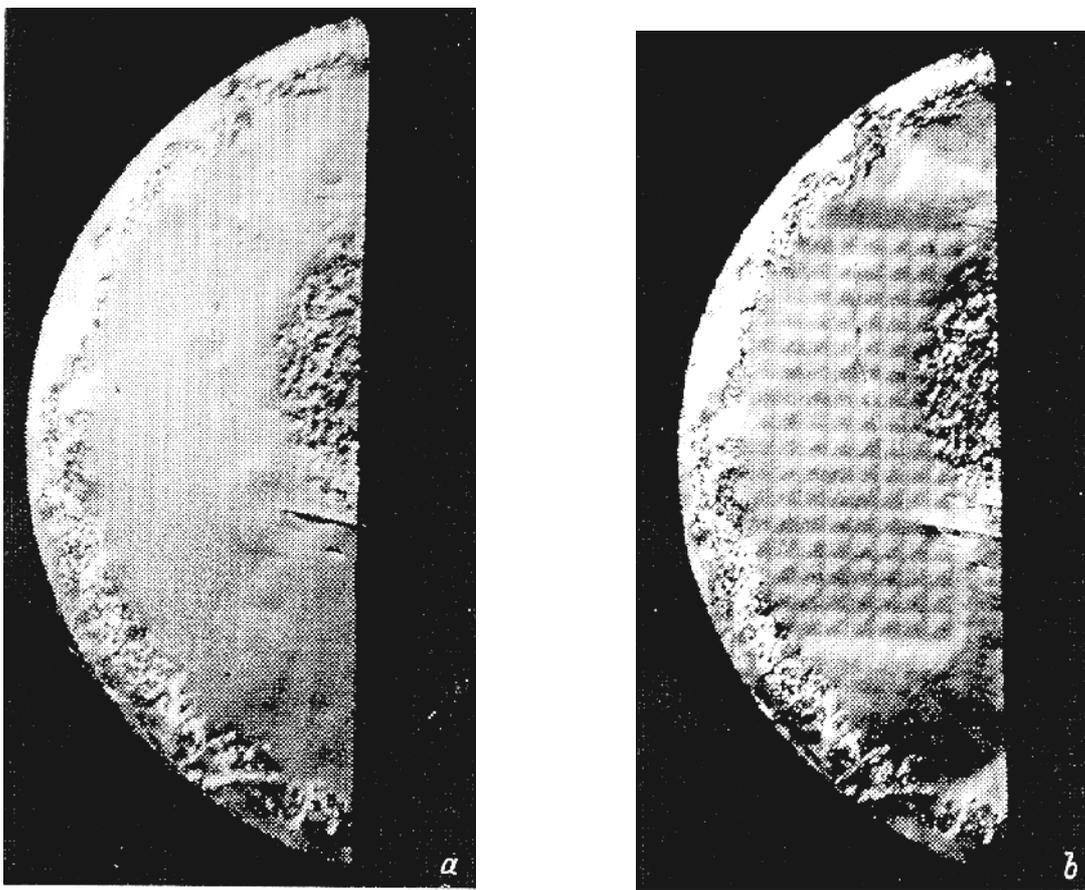
Для исследования деталей обнаруженного эффекта нами была нанесена проводящая маска (сетка) с регулярным строением и периодом решетки порядка 0.5 mm. Для формирования изображений использовались кристаллы LiNbO_3 , как номинально чистые, выращенные из стехиометрического состава методом Чохральского, так и с примесями металлов Mn, Zn, Fe, Cr, Ni и др. с

концентрацией не более 1 at%. Пластины вырезались перпендикулярно полярной оси с отклонением не более 30'' и подвергались оптической полировке. Образец с наложенной на поверхность z -среза проводящей сеткой подвергался нагреванию до температуры 150°C и охлаждался до комнатной температуры, после чего маска удалялась. После указанной процедуры на поверхности кристалла в поляризованном свете наблюдалось оптическое изображение, форма которого соответствовала форме проводящей маски (см. рисунок, *a, b*).

Исследовались оптимальные температурные режимы формирования оптических изображений. Установлено, что процесс формирования оптического изображения в образцах с нанесенной маской начинался в области температур 40–70°C. При нагревании образца с нанесенной проводящей маской свыше 80–100°C контраст наблюдаемой картины существенно снижался, а при нагревании до 130–150°C картина стиралась. Интервал температур 130–150°C соответствует термическому стиранию эффекта независимо от наличия проводящей маски. Заметим, что указанный температурный интервал соответствует термическому стиранию голограмм в ниобате лития [1], а также исчезновению оптических неоднородностей, визуализируемых в ниобате лития поляризационно-оптическим методом [4]. При охлаждении кристалла с нанесенной проводящей маской процесс повторялся в обратном порядке, но получаемая результирующая картина была более контрастной. Формирование изображений проводилось как при наблюдении в проходящем поляризованном свете, так и в темноте.

После охлаждения до комнатной температуры маска удалялась, при этом сформированные оптические изображения, форма которых соответствовала форме проводящей маски (см. рисунок, *a, b*), сохранялись на протяжении нескольких месяцев, после чего происходила потеря контрастности. Стирание сформированных оптических изображений осуществляется нагреванием кристалла до 150°C в отсутствие проводящей маски.

Наблюдение обнаруженного эффекта затруднено на "старых" образцах, не подвергавшихся внешним воздействиям, причем чем более "старый" срез брался для повторения эксперимента, тем менее контрастны получаемые картины. После многократных отжигов до



Кристалл $\text{LiNbO}_3 + 0.1 \text{ at\% Mn}$ (z -срез) при наблюдении в поляризованном свете, диаметр кристалла $\sim 1.5 \text{ cm}$, $T = 20^\circ \text{C}$. *a* — до обработки (видна оптическая неоднородность, визуализируемая поляризационно-оптическим методом), *b* — тот же кристалл после обработки.

температуры 200°C формирование изображений реализовывалось обычным порядком.

По мнению авторов, появление при нагревании оптических изображений, повторяющих форму проводящей маски, наложенной на поверхность образцов z -срезов кристаллов ниобата лития, связано с изменением потенциального рельефа поверхности кристаллов при контакте поверхности с проводником и неоднородным распределением экранирующего заряда. Проявление получаемых картин объясняется локальным электрооптическим эффектом, обусловленным компонентами внутреннего электрического поля пространственного заряда, перпендикулярными полярной оси кристалла. Температурное поведение обусловлено экранировкой этих полей неравновесными носителями [6], а фиксация оптических изображений — захватом неравновесных носителей на глубокие ловушки. О связи наблюдаемых явлений с эффектами возникновения полей пространственного заряда свидетельствует и корреляция температурного поведения наблюдаемых эффектов с известными данными по температурной зависимости электропроводности монокристаллов LiNbO_3 .

С учетом этой модели казались целесообразными исследование данного эффекта в кристаллах с различными

примесями, поскольку примеси определяют концентрацию и энергию термической активации носителей заряда, а также изучение влияния облучения светом с длинами волн, соответствующими возникновению явления фото-рефракции, на сформированные оптические картины.

Изображения удалось получить в кристаллах чистого ниобата лития и с примесями Mn и Fe. Наиболее четко они формировались в кристаллах $\text{LiNbO}_3 + 0.1 \text{ at\% Mn}$. В кристаллах LiNbO_3 без примесей, $\text{LiNbO}_3 + 0.1 \text{ at\% Fe}$, $\text{LiNbO}_3 + 0.1 \text{ at\% Mn}$ сформированное изображение было менее контрастным. Характерных отличий процесса формирования оптических изображений для кристаллов с различным составом в первом приближении не выявлено.

Следует также отметить, что наблюдаемый эффект формирования наведенного двулучепреломления носит объемный характер, вследствие чего наблюдается толщинная зависимость процесса формирования оптических изображений. Наилучшие результаты достигнуты для кристаллов с толщиной до 0.5 mm , а при дальнейшем увеличении толщины образцов контраст наблюдаемых картин уменьшается. Помимо этого в кристаллах с ярко выраженной оптической неоднородностью наблюдение (или формирование) оптических изображений было су-

существенно затруднено, поскольку вариация показателей преломления, обусловленная структурными неоднородностями и изменением состава кристаллов, может существенно превышать индуцированное двулучепреломление.

Для исследования влияния облучения светом на полученные термической обработкой изображения использовалась ртутная лампа высокого давления ДРШ-250. Образец с предварительно сформированным изображением помещался на предметный столик и подвергался длительному световому облучению. Во избежание нагрева кристалла световым потоком и для исключения влияния температурных воздействий образец охлаждался в процессе всего эксперимента. После первых 10 min облучения контрастность изображений уменьшалась. На протяжении последующих 2 h характер наблюдаемой картины практически не изменялся. Однако длительное облучение (порядка 3 h) приводило к восстановлению контраста изображения.

Как и ожидалось, удалось сформировать сходные описанным ранее картины при облучении светом z -среза кристалла с нанесенной непрозрачной проводящей или непроводящей маской. Были проведены соответствующие эксперименты, в которых кристалл с нанесенной маской подвергался длительной световой обработке. После снятия маски на поверхности кристалла оставалось оптическое изображение, считываемое при помещении образца между скрещенными поляризаторами и наблюдении его на просвет. Отметим, что в первом приближении процесс формирования изображения при облучении светом проходил одинаково как при использовании проводящих, так и непроводящих масок. Эффект удалось наблюдать в кристаллах LiNbO_3 с примесью Mn . Физическая модель этого явления соответствует обычно используемой при описании оптических картин, формируемых за счет фоторефракции, с учетом того, что запись идет на полярных срезах кристаллов.

Таким образом в настоящей работе были получены следующие результаты.

1) Обнаружен новый эффект памяти в кристаллах ниобата лития, суть которого состоит в следующем: на полярный срез монокристалла LiNbO_3 накладывают проводящую маску, повторяющую записываемую информацию, кристалл нагревают до 120–150°C и охлаждают до комнатной температуры, после чего маску снимают. В результате этого на поверхности кристалла формируется оптическое изображение, повторяющее форму проводящей маски. Считывание оптического изображения осуществляется при помещении кристалла между скрещенными поляризаторами и наблюдении его на просвет.

2) Сходство проявления обнаруженного эффекта и проявления эффекта фоторефракции позволяет прогнозировать наличие целого ряда возможностей записи информации на полярных срезах кристаллов ниобата лития. Физическая основа таких возможностей обусловлена термическим закреплением создаваемого каким-либо

способом изменения потенциального рельефа поверхности кристаллов и возникающего в результате этого неоднородного распределения экранирующего заряда. В контексте сообщения считаем необходимым упомянуть обнаруженный авторами [7] качественно сходный эффект появления оптических изображений в кристаллах LiTaO_3 при создании локальных механических воздействий.

Авторы признательны Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку проекта 97-02-16600, с тематикой которого связана настоящая работа.

Список литературы

- [1] Ю.С. Кузьминов. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития. Наука, М. (1987). 264 с.
- [2] К.Г. Белобаев, В.Т. Габриелян, Л.М. Казарян и др. Пьезо- и сегнетоматериалы и их применение. Мат. семин. М. (1972). С. 29.
- [3] М. Лайнс, А. Гласс. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. Мир, М. (1981). 736 с.
- [4] Е.И. Братищенко, Б.Б. Педько, В.М. Рудяк, В.П. Яруничев. Изв. АН СССР. Сер. физ. **48**, 6, 1213. (1984).
- [5] В.В. Ped'ko, I.I. Sorokina, N.A. Hohonina. The 7th Int. Meet. on Ferroelectricity. Abs. Book. Saarbrucken, FRG (1989). P. 219.
- [6] А.А. Блистанов, Е.В. Макаревская, В.В. Гераськин и др. ФТТ **20**, 9, 2575 (1978).
- [7] A.I. Otko, Yu.M. Poplavko, S.I. Chizhikov, L.A. Shuvalov. Photorefractive materials, effects and devices. PRM-93. Technical digest. Kiev (1993). P. 310–313.