

# Влияние гамма- и гамма-нейтронного облучения на оптические свойства монокристаллов $\text{LiNbO}_3$

© А.Н. Орлова, Б.Б. Педько, А.В. Филинова, Н.Ю. Франко, А.Ю. Прохорова

Тверской государственный университет,  
170002 Тверь, Россия

E-mail: anna.orlova@mail.ru

(Поступила в Редакцию в окончательном виде 7 июля 2005 г.)

Проведено исследование влияния радиационных воздействий ( $\gamma$ - и смешанного  $\gamma$ - $n$ -облучения) на показатели преломления и оптическую неоднородность монокристаллов ниобата лития конгруэнтного состава. Температурные зависимости оптических характеристик облученных кристаллов в интервале 20–400°C имеют ряд аномалий.

PACS: 77.84.Dy, 81.40.Wx, 78.20.Ci, 61.80.Ed, 61.80.Hg

Известно, что оптические свойства ниобата лития можно модифицировать различными путями [1–9]: введением примесей, ионизирующим, дефектообразующим излучением, термообработкой и т.д. В то же время отсутствует информация о влиянии на оптические свойства таких радиационных воздействий, как нейтронное и смешанное гамма-нейтронное облучение.

Целью настоящей работы является исследование влияния радиационных воздействий ( $\gamma$ -облучения и смешанного  $\gamma$ - $n$ -облучения) на оптические свойства (обыкновенный  $n_o$  и необыкновенный  $n_e$  показатели преломления, двулучепреломление  $\Delta n$  и оптическую неоднородность) монокристаллов ниобата лития.

## 1. Методика эксперимента

Объектом исследования служили монокристаллические образцы, вырезанные из конгруэнтных ( $\text{Li/Nb} = 0.94$ ) кристаллов чистого ниобата лития. Кристаллы выращены методом Чохральского на заводе теххимических изделий (г. Богородицк), обработаны и подготовлены к исследованиям в Институте физики твердого тела и полупроводников НАН Белоруссии. Все исследованные призмы вырезаны из одной були. Начальные значения показателей преломления при исследовании на разных призмах могут различаться вследствие ростовой вариации показателя преломления вдоль були на 1–2% [1].

Измерения показателей преломления проводились методом призмы [10] по углу наименьшего отклонения ( $\lambda = 546.1$  nm) с помощью гониометра ГС-2. Призмы вырезались таким образом, чтобы оптическая ось была параллельна преломляющему ребру. Погрешность измерения показателей преломления составляла  $10^{-5}$ . Температура измерялась и контролировалась медь-константановой термопарой, расположенной вблизи верхнего основания призмы. Измерения показателей преломления осуществлялись в интервале температур от 20 до 400°C. Температура изменялась непрерывно через 10°C, цикл нагрев-охлаждение проводился

непрерывно и занимал 5 h. Скорость нагрева составляла 2–4°C/min.

Измерения оптической неоднородности проводились поляризационно-оптическим методом на  $Z$ -срезах ниобата лития по методике [9,10]. Свет распространялся вдоль оптической оси кристалла (ось  $z$ ). В качестве источника излучения использовался He-Ne-лазер ( $\lambda = 632.8$  nm).

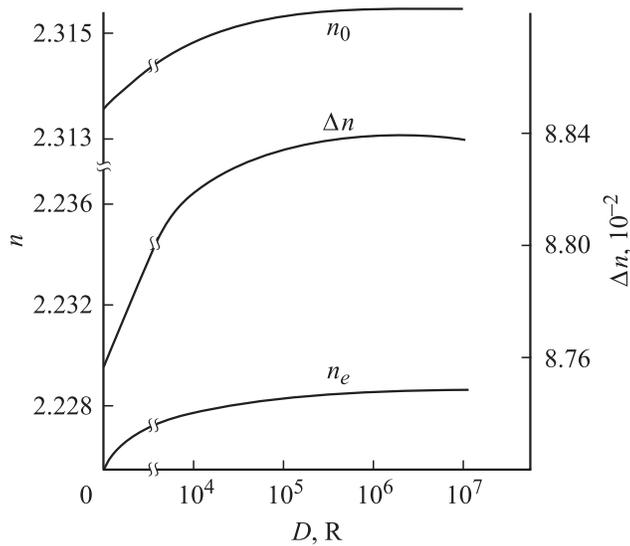
Гамма-облучение проводилось на установке  $\text{Co}_{60}$  ( $E_\gamma = 1.332$  и 1.2 MeV) при дозах до  $10^7$  R, а смешанное  $\gamma$ - $n$ -облучение на реакторе ИБР-2 (ЛНФ ОИЯИ, г. Дубна) — при  $\gamma$ -дозе  $5 \cdot 10^4$  R ( $E_\gamma = 1.5$ –2 MeV), при этом флюенс быстрых нейтронов с  $E > 0.1$  MeV составлял  $\Phi = 3.5 \cdot 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup> при времени облучения  $t = 2940$  s.

Отжиг проводился в воздушной атмосфере при 600°C в течение 4 h.

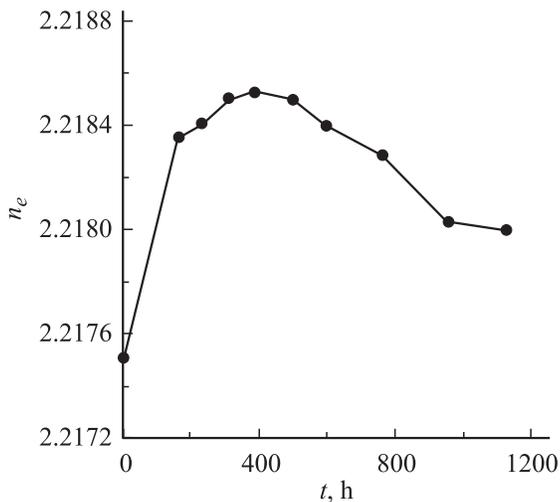
## 2. Результаты эксперимента

Установлено, что облучение приводит к увеличению показателей преломления монокристаллов  $\text{LiNbO}_3$ . Значения  $n_o, n_e$  и  $\Delta n$  с ростом дозы  $\gamma$ -облучения возрастают и выходят на насыщение при дозе  $10^6$  R (рис. 1). Зависимости  $n_o$  и  $n_e$  от времени, прошедшего после  $\gamma$ - $n$ -облучения, имеют максимум при времени порядка 300 h, после чего показатели преломления выходят на стационарные значения (рис. 2) [11]. Базируясь на модели рентгенорефрактивного эффекта, некоторое снижение показателей преломления после облучения можно связать с релаксацией внутренних полей, формирующихся во время облучения. При  $\gamma$ -облучении монокристаллов  $\text{LiNbO}_3$  наблюдается фотохромный эффект, который исчезает при отжиге кристаллов [5].

В работе исследовалась зависимость остаточного светопропускания (ОСП), являющегося мерой оптической однородности ниобата лития, от температуры [9]. Эта зависимость имеет в конгруэнтных отожженных кристаллах два максимума разной величины (рис. 3), связываемых с различными механизмами экранирования электрических полей, ответственных за возникновение



**Рис. 1.** Зависимости  $n_e$ ,  $n_0$  и  $\Delta n$  от дозы  $\gamma$ -облучения для кристаллов  $\text{LiNbO}_3$  ( $\lambda = 546.1 \text{ nm}$ ).



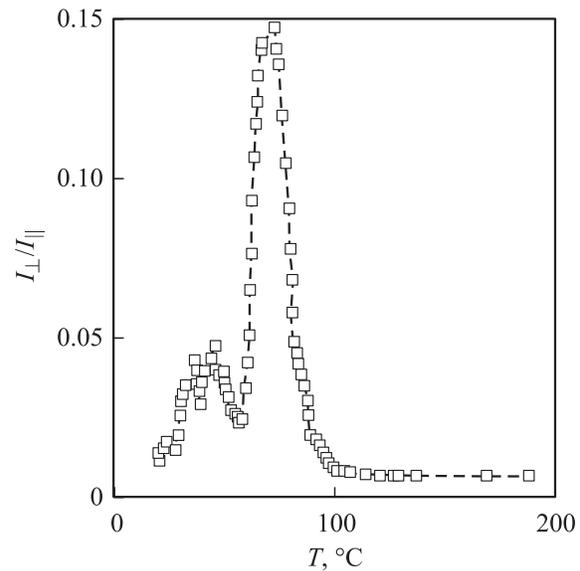
**Рис. 2.** Зависимость  $n_e$  от времени, прошедшего после облучения, для  $\gamma$ - $n$ -облученного кристалла  $\text{LiNbO}_3$  ( $\lambda = 576.9 \text{ nm}$ ) (первая точка указана для необлученного кристалла).

оптической неоднородности. Радиационные воздействия уменьшают вариации ОСП по объему кристаллов и в то же время приводят к увеличению температурной оптической нестабильности и наличию множественных скачкообразных процессов изменения оптической неоднородности в интервале от 50 до 125°C. При этом значения ОСП в данном температурном интервале могут возрастать на порядок.

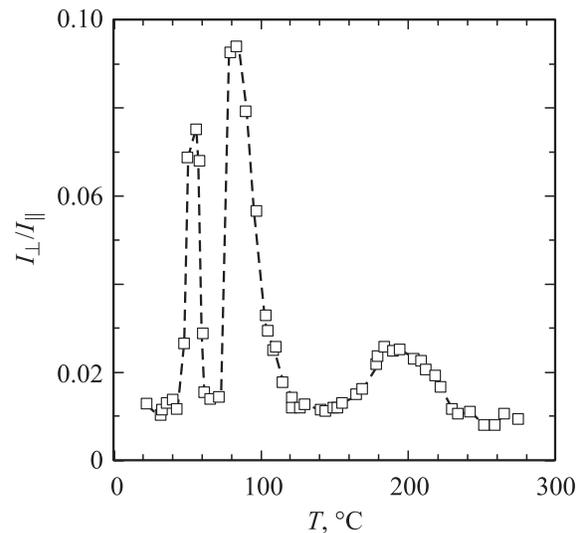
На температурной зависимости ОСП для  $\gamma$ - и  $\gamma$ - $n$ -облученных кристаллов ниобата лития наблюдается слабовыраженный третий максимум, что связывается нами с  $\gamma$ -облучением (рис. 4). Третий пик появляется при дозах  $\gamma$ -облучения  $\geq 10^4 R$ .

Температурные зависимости показателей преломления  $n_0$  и  $n_e$  при нагреве носят монотонный возрастающий характер. Нагрев облученных образцов до 400°C приводит к отжигу радиационных дефектов, что проявляется в изменении температурных коэффициентов обоих показателей преломления (рис. 5). Тот факт, что этот эффект наблюдается как для  $\gamma$ -, так и для  $\gamma$ - $n$ -облученных кристаллов, дает повод связать его с  $\gamma$ -облучением.

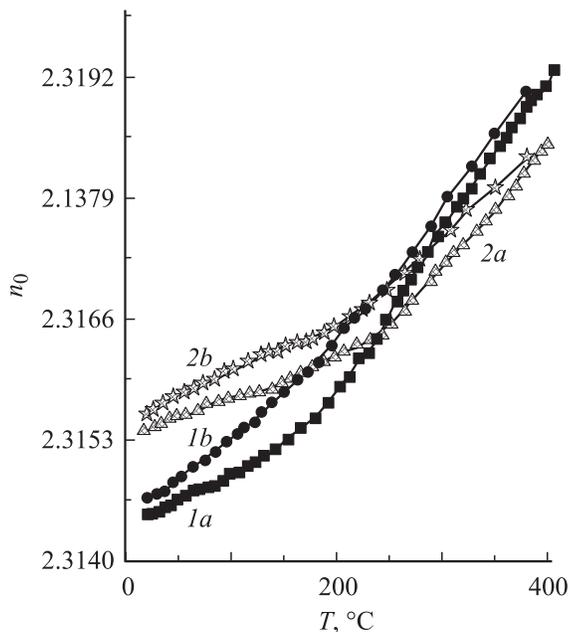
При полном цикле нагрев-охлаждение температурная зависимость показателей преломления носит „гистерезисный“ характер. Гистерезис объясняется нами возникновением внутренних полей пьезоэлектрического характера  $E_z$ , направленных вдоль полярной оси, ко-



**Рис. 3.** Температурная зависимость ОСП для необлученного кристалла  $\text{LiNbO}_3$  (окисленный кристалл).



**Рис. 4.** Температурная зависимость ОСП для  $\gamma$ - $n$ -облученного кристалла  $\text{LiNbO}_3$ .



**Рис. 5.** Зависимость  $n_0(T)$  для  $\gamma$ -облученного кристалла  $\text{LiNbO}_3$  при нагреве ( $1a, 2a$ ) и охлаждении ( $1b, 2b$ ), 1 — первый цикл нагрев-охлаждение, 2 — второй.

торы меняют свое направление на противоположное при нагреве и охлаждении. Оценка величины возникающих локальных электрических полей дает разумное значение  $E_z$  порядка  $10^4 \cdot \text{cm}^{-1}$ . Об интенсивной термоактивированной перестройке электрических полей свидетельствует также скачкообразное изменение показателей преломления. Это явление наблюдается при нагреве облученных образцов и обусловлено перезарядкой отдельных областей кристалла из-за внутреннего пробоя [8].

В результате отжига  $\gamma$ - и  $\gamma$ - $n$ -облученных кристаллов значения показателей преломления возрастают и изменяются температурные коэффициенты и величина температурного гистерезиса. В отожженных  $\gamma$ -облученных кристаллах в интервале  $30\text{--}70^\circ\text{C}$  происходит уширение линий изображения щели коллиматора, соответствующих показателям преломления  $n_o$  и  $n_e$ , а после  $120^\circ\text{C}$  и вплоть до  $400^\circ\text{C}$  наблюдается раздвоение указанных выше линий. Это свидетельствует о возникающей вариации показателя преломления по объему кристалла и возможном возникновении локальных областей с различными, но близкими оптическими свойствами.

Экспериментальные данные указывают на то, что радиационное повреждение ( $\gamma$ - и  $\gamma$ - $n$ -облучение) кристаллов  $\text{LiNbO}_3$  не является обратимым при длительной выдержке и отжиге.

Авторы благодарят В.В. Голикова и других сотрудников Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна).

## Список литературы

- [1] Ю.С. Кузьмин. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития. Наука, М. (1987). 263 с.
- [2] Э.С. Варгянян, Р.К. Овсепят, А.Р. Погосян, А.Л. Тимофеев. ФТТ **26**, 8, 2418 (1984).
- [3] Т.Р. Волк, М.А. Иванов, М.Л. Мейльман, Н.М. Рубинина. ФТТ **29**, 3, 871 (1987).
- [4] Т.Р. Волк, С.А. Шрамченко, Л.А. Шувалов. ФТТ **26**, 12, 3548 (1984).
- [5] Б.Б. Педько, В.М. Рудяк, А.Л. Шабалин. Изв. АН СССР. Сер. физ. **54**, 6, 1171 (1990).
- [6] Л.Г. Ракитина, И.М. Зарицкий, Г. Корради, К. Полгар. ФТТ **32**, 4, 1112 (1990).
- [7] T.R. Volk, S.A. Shramchenko, L.A. Shuvalov, V.M. Fridkin. Ferroelectrics Lett. **3**, 23 (1984).
- [8] Э.М. Авакян, К.Г. Белабаев, В.Х. Саркисов. Кристаллография **21**, 5, 1214 (1976).
- [9] А.А. Блистанов, Е.В. Макаревская, В.В. Гераськин, О.К. Комалов, М.М. Коблова. ФТТ **20**, 9, 2575 (1978).
- [10] В.А. Афанасьев. Оптические измерения. Высш. шк., М. (1981). 229 с.
- [11] Б.Б. Педько, А.Ю. Прохорова, А.Н. Орлова, В.В. Голиков. Изв. РАН. Сер. физ. **67**, 8, 1216 (2003).