



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Мурманский государственный технический университет»



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт химии и технологии редких элементов и минерального
сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН



Исследование фоторефрактивных свойств монокристаллов ниобата лития по параметрам индикатрисы рассеянного излучения

Шувалова А. М. (АФ МГТУ, 1 курс)
Научный руководитель: Яничев А. А. (ИХТРЭМС КНЦ РАН)

Габайн А. А. (ИХТРЭМС КНЦ РАН)

Цель работы

2

Цель работы

3

Исследовать фоторефрактивные свойства и определить значения напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей в монокристаллах ниобата лития разного состава по параметрам индикатрисы рассеянного излучения при возбуждении лазерным излучением в диапазоне 476,5-532 нм

Объекты исследования

4

Объекты исследования

5

В ходе эксперимента исследовались кристаллы ниобата лития следующих составов:

- LiNbO_3 stoich. [6 % K_2O] ($R=\text{Li}/\text{Nb}=1$)
- LiNbO_3 cong. ($R=\text{Li}/\text{Nb}=0,946$)
- $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ [0,018 мол. %]
- $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ [2,93 мол. %]
- $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ [0,08 мол. %]
- $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ [0,35 мол. %]
- $\text{LiNbO}_3:\text{Gd}$ [0,05 мол. %]
- $\text{LiNbO}_3:\text{Y}$ [0,46 мол. %]
- $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ [0,007 мол. %] : Gd [0,02 мол. %]
- $\text{LiNbO}_3:\text{Gd}$ [0,002 мол. %] : Mg [0,4 мол. %]

Методика эксперимента

6

Рост кристаллов ниобата лития разного состава

Регистрация параметров индикатрисы рассеянного излучения в кристаллах ниобата лития разного состава

Рост кристаллов ниобата лития

7

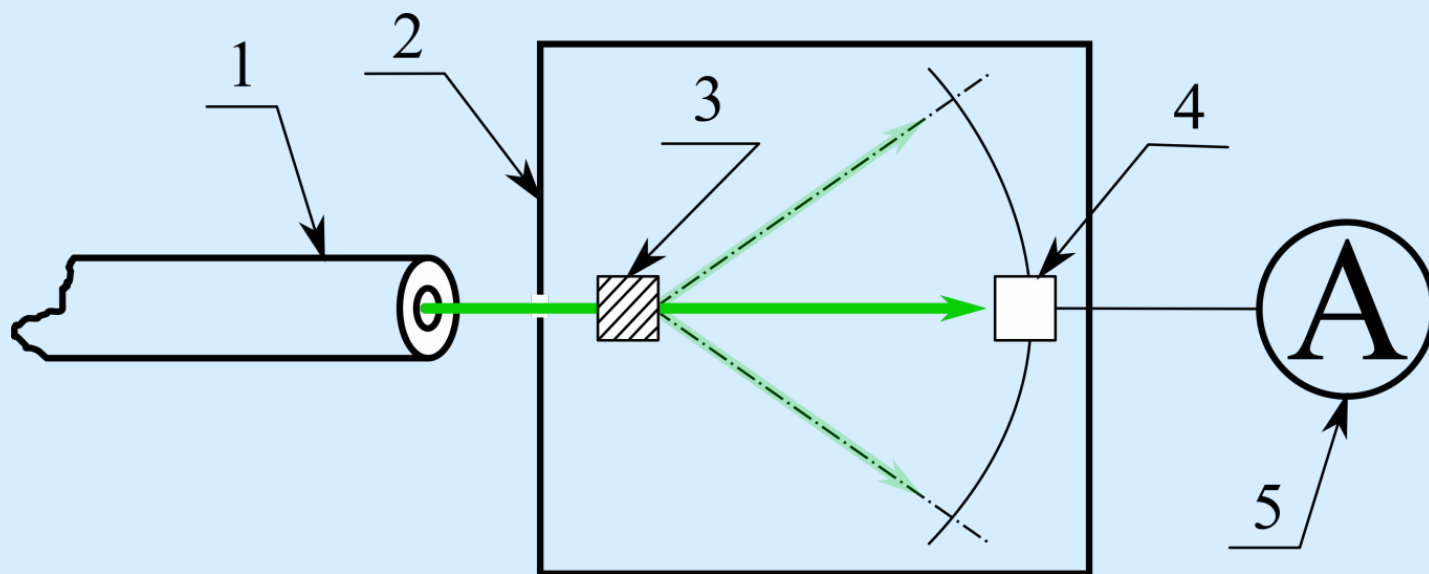
- Использовалась оригинальная гранулированная шихта, синтезированная в ИХТРЭМС КНЦ РАН
- Синтез монокристаллов ниобата лития производился на установке «Кристалл-2»
- Дальнейшая монодоменизация осуществлялась в печи «Лантан»



Установка для выращивания монокристаллов методом Чохральского

Регистрация параметров индикатрисы рассеянного излучения

8



Экспериментальная схема установки для определения интенсивности и угла
рассеянного излучения:

- 1 — лазер Spectra Physics 2018-RM;
- 2 — светонепроницаемая камера; 3 — исследуемый кристалл ниобата лития;
- 4 — фотодиод; 5 — мультиметр

Практическая часть

9

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей монокристаллов ниобата лития разного состава по параметрам рассеянного излучения

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей

10

$$E_{pv} = \frac{\lambda \cdot (\Gamma_{-c} + \Gamma_{+c})}{2\pi \left[n_e^3 r_{33} \sqrt{\cos \theta_s^{in}} \cos \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) + n_e n_o^2 r_{51} \sqrt{\tan \theta_s^{in} \sin \theta_s^{in}} \sin \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) \right]} \quad *$$

$$E_D = \frac{\lambda \cdot (\Gamma_{-c} - \Gamma_{+c})}{2\pi \left[n_e^3 r_{33} \sqrt{\cos \theta_s^{in}} \cos \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) + n_e n_o^2 r_{51} \sqrt{\tan \theta_s^{in} \sin \theta_s^{in}} \sin \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) \right]}$$

E_{pv} — фотовольтаическое поле, E_D — диффузионное поле, λ — длина волны, θ_s^{in} — угол рассеянного излучения, Γ_{-c} и Γ_{+c} — коэффициенты усиления (индексы «-» и «+» указывают направление рассеянного излучения против и вдоль направления полярной оси кристалла, соответственно), r_{33} и r_{51} — электрооптические коэффициенты для LiNbO_3 , n_e и n_o — показатели преломления необыкновенного и обыкновенного лучей, соответственно

* Goukov, M. Photorefractive parameters of lithium niobate crystals from photoinduced light scattering / M. Goukov, M. Imlau, Th. Woike // Phys. Rev. B. — 2008. Дальнейшие расчёты велись по формулам, представленным в статье, если это не указано отдельно

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей

11

$$n_e = 4,5567 + 2,605 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + \frac{0,097 + 2,7 \cdot 10^{-8} \cdot T^2}{\lambda^2 - (0,201 + 5,4 \cdot 10^{-8} \cdot T^2)^2} - 2,24 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda^2$$

$$n_o = 4,9130 + \frac{0,1173 + 1,65 \cdot 10^{-8} \cdot T^2}{\lambda^2 - (0,212 + 2,7 \cdot 10^{-8} \cdot T^2)^2} - 2,78 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda^2$$

n_e и n_o — показатели преломления необыкновенного и обыкновенного луча соответственно

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей

12

$$E_{pv} = \frac{\lambda \cdot (\Gamma_{-c} + \Gamma_{+c})}{2\pi \left[n_e^3 r_{33} \sqrt{\cos \theta_s^{in}} \cos \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) + n_e n_o^2 r_{51} \sqrt{\tan \theta_s^{in} \sin \theta_s^{in}} \sin \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) \right]} \quad *$$

$$E_D = \frac{\lambda \cdot (\Gamma_{-c} - \Gamma_{+c})}{2\pi \left[n_e^3 r_{33} \sqrt{\cos \theta_s^{in}} \cos \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) + n_e n_o^2 r_{51} \sqrt{\tan \theta_s^{in} \sin \theta_s^{in}} \sin \left(\frac{\theta_s^{in}}{2} \right) \right]}$$

E_{pv} — фотовольтаическое поле, E_D — диффузионное поле, λ — длина волны, θ_s^{in} — угол рассеянного излучения, Γ_{-c} и Γ_{+c} — коэффициенты усиления (индексы «-» и «+» указывают направление рассеянного излучения против и вдоль направления полярной оси кристалла, соответственно), n_e и n_o — показатели преломления необыкновенного и обыкновенного луча соответственно, r_{33} и r_{51} — электрооптические коэффициенты для LiNbO_3

* Goukov, M. Photorefractive parameters of lithium niobate crystals from photoinduced light scattering / M. Goukov, M. Imlau, Th. Woike // Phys. Rev. B. — 2008. Дальнейшие расчёты велись по формулам, представленным в статье, если это не указано отдельно

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей

13

$$\Gamma(\theta_s^{in}) = \frac{1}{l_{eff}(\theta_s^{in})} \ln \frac{I_s(\theta_s^{in})}{I_{SO}^{\Omega}(\theta_s^{in})} \quad (1)$$

$$I_{SO}^{\Omega} = \frac{I_{SO}}{1 + (\Omega_{\pm c})^2} \quad (2)$$

$$l_{eff} = \frac{d}{2 \sin \theta_s^{in}} \quad \text{при } \theta_s^{in} \geq \arctan\left(\frac{w_p}{2d}\right) \quad (3)$$

$$l_{eff} = \frac{d}{\cos \theta_s^{in}} \quad \text{при } \theta_s^{in} < \arctan\left(\frac{w_p}{2d}\right)$$

$l_{\text{эфф}}$ — эффективный интервал взаимодействия, I_s и I_{SO}^{Ω} — интенсивности рассеянного излучения и первичного рассеяния (падающего луча) с учётом некогерентности, соответственно

I_{SO} — начальная интенсивность первичного рассеяния (падающего луча), $\Omega_{\pm c}$ — расстройка частоты падающего луча вдоль и против направления полярной оси кристалла (учитывает некогерентность)

w_p — диаметр падающего лазерного луча, d — ширина кристалла в направлении прохождения излучения

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей

14

Таблица 1

Расчетные значения напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей в кристаллах ниобата лития разного состава

№	Кристалл	$\lambda_{\text{возб}}=476,5 \text{ нм}$		$\lambda_{\text{возб}}=488 \text{ нм}$		$\lambda_{\text{возб}}=514,5 \text{ нм}$		$\lambda_{\text{возб}}=532 \text{ нм}$	
		$E_{\text{pv}},$ кВ/см	$E_{\text{D}},$ кВ/см	$E_{\text{pv}},$ кВ/см	$E_{\text{D}},$ кВ/см	$E_{\text{pv}},$ кВ/см	$E_{\text{D}},$ кВ/см	$E_{\text{pv}},$ кВ/см	$E_{\text{D}},$ кВ/см
1	LiNbO ³ конг.	4,326	0,249	3,549	0,198	6,232	0,810	5,003	0,052
2	LiNbO ³ :Er [3,1 мас. %]	4,295	0,169	3,761	0,047	7,906	0,295	5,515	0,289
3	LiNbO ³ :B [0,08 мас. %]	3,914	1,118	5,259	0,550	10,030	0,477	5,46	0,572
4	LiNbO ³ :Gd [0,002 мас. %] :Mg [0,4 мас. %]	5,089	0,253	4,530	0,224	6,391	0,651	6,139	0,282
5	LiNbO ³ :Gd [0,05 мас. %]	7,224	1,318	4,903	0,015	8,054	1,308	5,613	0,712
6	LiNbO ³ :Y [0,46 мас. %]	6,405	0,736	4,934	0,574	11,010	0,577	10,2	0,597
7	LiNbO ³ :Zn [2,93 мас. %]	4,611	0,390	3,686	0,285	7,721	0,480	6,885	0,228
8	LiNbO ³ :Zn [0,018 мас. %]	6,531	0,951	4,421	0,308	4,819	1,257	2,909	0,278
9	LiNbO ³ :Cu [0,007 мас. %] :Gd [0,02 мас. %]	5,258	0,370	4,697	0,274	10,030	0,477	5,848	0,064
10	LiNbO ³ стех.	3,907	0,923	2,979	0,895	6,855	2,508	4,055	1,749

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей

15

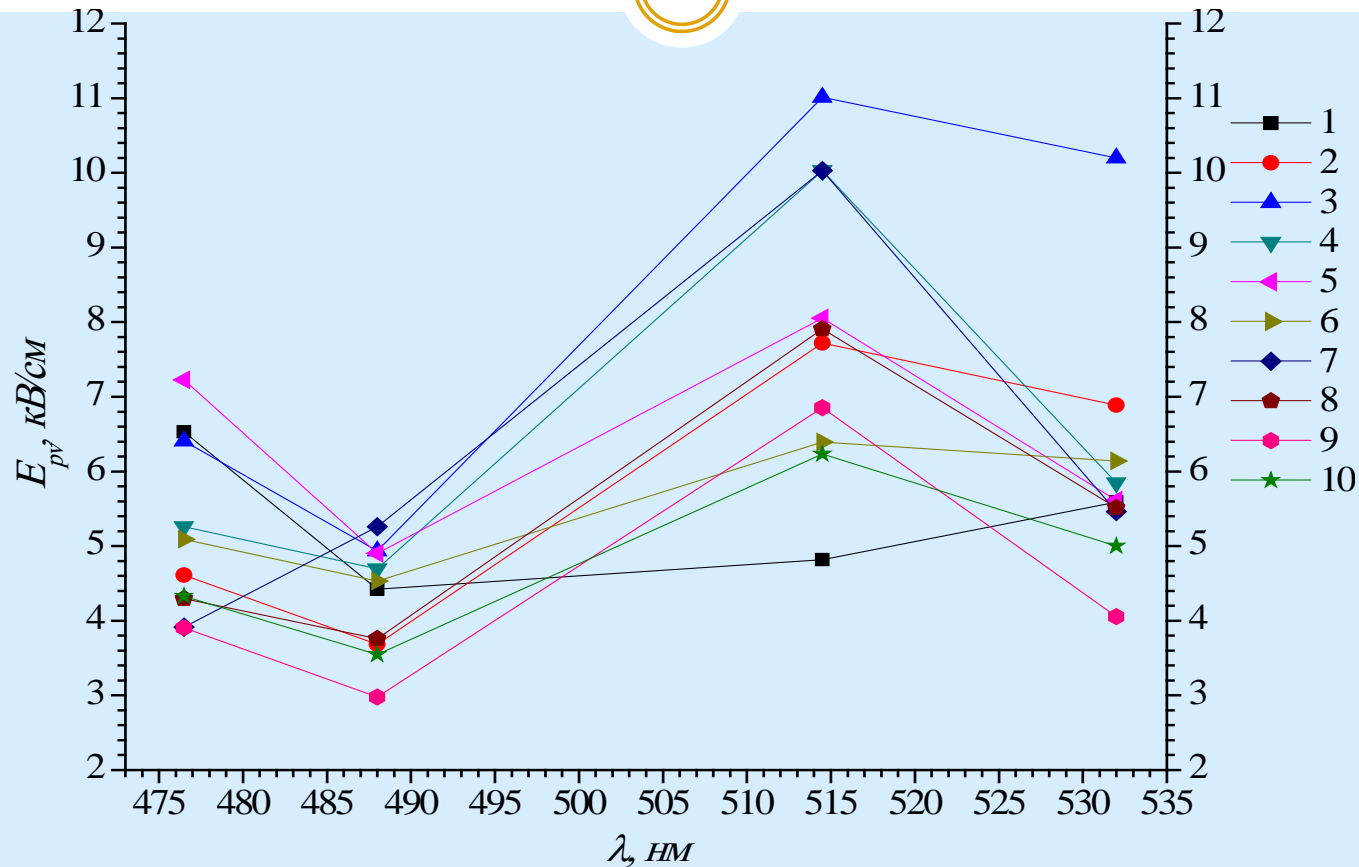


Рисунок 1 — Зависимость E_{pv} от длины волны для кристаллов: $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ [0,018 мас. %] (1); $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ [2,93 мас. %] (2); $\text{LiNbO}_3:\text{Y}$ [0,46 мас. %] (3); $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ [0,007 мас. %]: Gd [0,02 мас. %] (4); $\text{LiNbO}_3:\text{Gd}$ [0,05 мас. %] (5); $\text{LiNbO}_3:\text{Gd}$ [0,002 мас. %]: Mg [0,4 мас. %] (6); $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ [0,08 мас. %] (7); $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ [3,1 мас. %] (8); $\text{LiNbO}_{3\text{стех}}$ (9); $\text{LiNbO}_{3\text{конгр}}$ (10)

Расчёт значений напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей

16

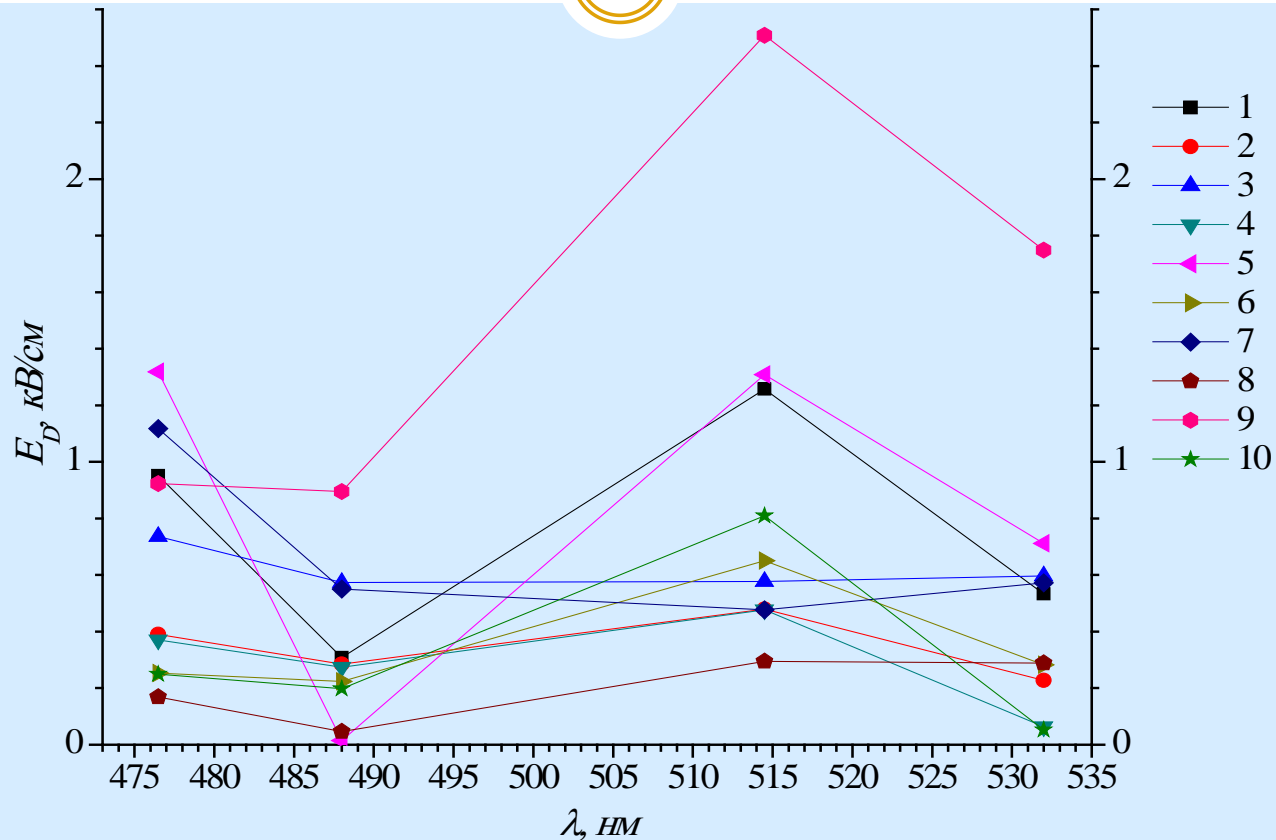


Рисунок 2 — Зависимость E_D от длины волны для кристаллов: $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ [0,018 мас. %] (1); $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ [2,93 мас. %] (2); $\text{LiNbO}_3:\text{Y}$ [0,46 мас. %] (3); $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ [0,007 мас. %]: Gd [0,02 мас. %] (4); $\text{LiNbO}_3:\text{Gd}$ [0,05 мас. %] (5); $\text{LiNbO}_3:\text{Gd}$ [0,002 мас. %]: Mg [0,4 мас. %] (6); $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ [0,08 мас. %] (7); $\text{LiNbO}_3:\text{Er}$ [3,1 мас. %] (8); $\text{LiNbO}_{3\text{стех}}$ (9); $\text{LiNbO}_{3\text{конгр}}$ (10)

Обработка результатов и выводы

17

- По параметрам индикатрисы рассеянного излучения была проведена количественная оценка напряженностей фотовольтаического и диффузионного полей в фоторефрактивных монокристаллах ниобата лития разного состава при разных длинах волн возбуждающего излучения
- Показано, что наименьшим значением фотовольтаического поля (при $\lambda_{\text{возб}}=476,5$ и 488 нм), определяющего итоговое значение показателя преломления кристалла, характеризуется кристалл стехиометрического состава. При увеличении длины волны ($\lambda_{\text{возб}}=514,5$ и 532 нм) возбуждающего излучения наименьшим значением фотовольтаического поля обладает кристалл $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ [0,018 мас. %]

Благодарности

18

Научному руководителю Яничеву Александру Александровичу

- Сидорову Николаю Васильевичу (ИХТРЭМС КНЦ РАН)
- Палатникову Михаилу Николаевичу (ИХТРЭМС КНЦ РАН)
- Бирюковой Ирине Викторовне (ИХТРЭМС КНЦ РАН)
- Тепляковой Наталье Александровне (ИХТРЭМС КНЦ РАН)
- Габайну Алексею Анатольевичу (ИХТРЭМС КНЦ РАН)
- Суй Александру Вячеславовичу (ДВГУПС)

Благодарю за внимание