

## ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ЭФФЕКТА В ОДНООСНЫХ КРИСТАЛЛАХ

В. А. МАКСИМЕНКО

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 680021, Хабаровск, Россия  
E-mail: maximenko@festu.khv.ru

Исследованы оптически наведенные дефекты в фоторефрактивных кристаллах. Рассматривается возможность применения для этой цели интерференции поляризованных лучей. Предложены условия эксперимента для исследования кинетики формирования фотоиндуцированного дефекта в кристалле ниобата лития за счет анализа интерференции поляризованных световых лучей. Предложена методика, позволяющая определять величину фотоиндуцированного двулучепреломления кристалла в области наведенного дефекта по уровню интенсивности света, прошедшего систему. Представлена принципиальная схема экспериментальной установки для исследования кинетики формирования фотоиндуцированных дефектов в одноосных кристаллах.

**Ключевые слова:** интерференция поляризованных световых волн, одноосные кристаллы, фоторефрактивный эффект, двулучепреломление, оптически наведенные дефекты, кристалл ниобата лития

Изучение оптически наведенных (фотоиндуцированных) дефектов в фоторефрактивных кристаллах важно как в фундаментальном, так и в прикладном аспекте [1—6]. Поскольку поляризация световых волн в значительной степени изменяется в области фотоиндуцированного дефекта [5—8], то для исследования таких дефектов целесообразно применить анализ интерференции поляризованных лучей.

В одноосном кристалле вектор напряженности световой волны разделяется на обыкновенную и необыкновенную составляющие [9]. Набег их фаз на выходе из кристалла различен: для необыкновенной волны  $\varphi_e = \frac{2\pi}{\lambda} dn_e$ , для обыкновенной  $\varphi_o = \frac{2\pi}{\lambda} dn_o$ , где  $d$  — толщина кристалла,  $\lambda$  — длина световой волны в вакууме. После кристалла волны проходят через анализатор А. Его плоскость пропускания перпендикулярна плоскости пропускания поляризатора П, задающего поляризацию световой волны до кристалла (рис. 1;  $zz$  — оптическая ось кристалла,  $\mathbf{E}$  — вектор напряженности электрического поля световой волны, прошедшей через поляризатор,  $\mathbf{E}_o$ ,  $\mathbf{E}_e$  — векторы напряженности электрического поля обыкновенной и необыкновенной волн соответственно,  $E_{oA}$ ,  $E_{eA}$  — проекции векторов напряженности электрического поля обыкновенной и необыкновенной волн на плоскость пропускания анализатора).

На выходе из кристалла необыкновенную и обыкновенную волны можно описать как

$$E_e = E \cos \alpha \cos(\omega t - \varphi_e), \quad E_o = E \sin \alpha \cos(\omega t - \varphi_o), \quad (1)$$

где  $\alpha$  — угол между вектором  $\mathbf{E}$  световой волны, падающей на кристалл, и оптической осью кристалла  $zz$ ,  $\omega$  — циклическая частота излучения.

На выходе из анализатора получим (см. рис. 1)

$$E_{eA} = E \sin \alpha \cos \alpha \cos(\omega t - \varphi_e), \quad E_{oA} = -E \cos \alpha \sin \alpha \cos(\omega t - \varphi_o). \quad (2)$$

Интенсивность света  $I$  пропорциональна квадрату амплитуды напряженности электрического поля световой волны, и на выходе из анализатора она определяется выражением:

$$I = \frac{1}{2} I_0 (1 - \cos \delta) \sin^2 2\alpha, \quad (3)$$

где  $\delta = \varphi_e - \varphi_o$  — разность фаз необыкновенной и обыкновенной волн на выходе из кристалла [9, 10].

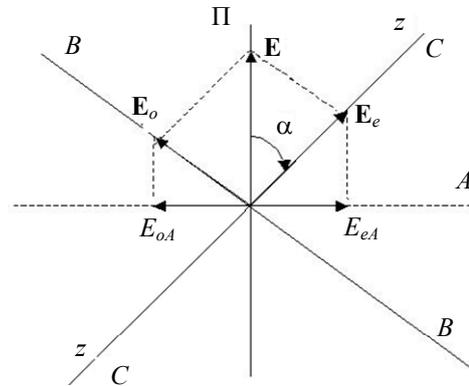


Рис. 1

При симметричном расположении плоскостей пропускания поляризатора и анализатора относительно оптической оси для  $\alpha=45^\circ$  выражение (3) принимает вид:

$$I = \frac{1}{2} I_0 (1 - \cos \delta). \quad (4)$$

Когда разность фаз равна

$$\delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \Delta n = 2m\pi, \quad (5)$$

через систему „поляризатор—кристалл—анализатор“ свет не проходит ( $m$  — целое число,  $\Delta n = n_o - n_e$ ). Для кристалла ниобата лития при  $\lambda=0,63$  мкм  $\Delta n=0,09$  [11, 12]. Подобрать кристаллическую пластинку необходимой толщины для реализации условия (5) может быть достаточно сложно. Однако поворот кристаллической пластинки на определенный угол позволяет устранить эту проблему. Этот угол можно оценить следующим образом.

Минимальная толщина пластинки ниобата лития, необходимая для того, чтобы свет не проходил через систему, равна  $d_{\min} = \frac{\lambda}{\Delta n} = 0,007$  мм. Это означает, что значения  $I=0$  можно добиться, изменив эффективную толщину кристалла до  $0—0,007$  мм. Значения угла поворота пластинки  $\beta$  будут лежать в пределах от  $0$  до  $\arccos \frac{d}{d+d_{\min}}$ . На рис. 2 представлен пример

нахождения угла поворота кристаллической пластинки для обеспечения  $I=0$  системы;  $\beta$  — угол поворота кристалла (угол падения луча на кристалл),  $d_m$  — добавочное расстояние, которое проходит луч в кристалле после поворота образца. Для пластинки ниобата лития толщиной 1 мм угол  $\beta_{\max} \approx 6,76^\circ$ .

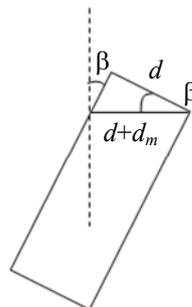


Рис. 2

Таким способом можно обеспечить нулевую интенсивность после прохождения луча системы „поляризатор—кристалл—анализатор“.

Излучение, с достаточной интенсивностью проходящее через настроенную на нулевое пропускание систему, создаст в фоторефрактивном кристалле фотоиндуцированный дефект [2—8, 11—13]. Этот дефект заметен на затемненном поле [14—16], поскольку в его области разность показателей преломления кристалла  $\Delta n$  изменится на  $\Delta n_{\Phi}$  за счет фоторефрактивного эффекта [1, 4]. В легированных кристаллах ниобата лития величина  $\Delta n_{\Phi}$  может достигать значений 0,001 [3, 12]. Это приведет к тому, что разность фаз  $\delta$  изменится на

$$\delta_{\Phi} = \frac{2\pi d}{\lambda} \Delta n_{\Phi}. \quad (6)$$

Для кристалла ниобата лития толщиной 1 мм при длине волны 0,63 мкм  $\delta_{\Phi \max} \approx 10$  рад.

Результирующая разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами в этом случае будет равна  $\delta + \delta_{\Phi}$ . Причем в рассматриваемом случае (см. (4))  $\cos \delta = 1$ . Выражение (4) можно тогда свести к виду:

$$I = \frac{1}{2} I_0 (1 + \cos \delta_{\Phi}). \quad (7)$$

Это означает, что возможно находить величину фотоиндуцированного изменения показателя преломления по экспериментально измеренной интенсивности прошедшего систему излучения.

Экспериментально получив зависимость интенсивности от времени  $I(t)$  и сопоставив ее с выражением (7), можно найти зависимость  $\Delta n_{\Phi}$  от времени.

На рис. 3 приведена схема экспериментальной установки для исследования фотоиндуцированных дефектов в кристаллах ниобата лития; 1 — источник оптического излучения (лазер), 2 — поляризатор, 3 — кристалл, 4 — устройство поворота кристалла, 5 — анализатор, 6 — фотоприемник, 7 — осциллограф.

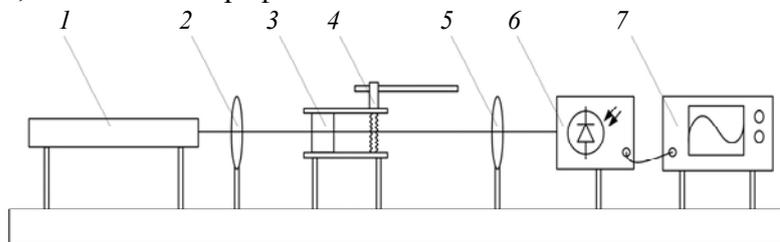


Рис. 3

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Syuy A. V., Stroganov V. I., Krishtop V. V., Lihtin V. V. Conoscopic methods of optic crystal research // Proc. of SPIE. 2007. Vol. 6595.
2. Guibaly F., Young L. Optically induced light scattering and beam distortion in iron-doped lithium niobate // Ferroelectrics. 1983. Vol. 46. P. 201—208.
3. Максименко В. А., Сую А. В., Карпец Ю. М. Фотоиндуцированные процессы в кристаллах ниобата лития. М.: Физматлит, 2008. 96 с.
4. Сидоров Н. В., Палатников М. Н., Яничев А. А., Габаин А. А., Пикуль О. Ю., Смирнов А. Н. Исследование оптической неоднородности фоторефрактивных свойств монокристаллов ниобата лития методами спектроскопии комбинационного рассеяния и лазерной коноскопии // Оптика и спектроскопия. 2013. Т. 115, № 4. С. 597—603.
5. Maksimenko V. A., Krishtop V. V. Optical radiation characteristics that affect the formation of large-scale and small-scale optical defects in photorefractive crystals // Proc. of SPIE. 2016. Vol. 10176. DOI: 10.1117/12.2268254.

6. Сидоров Н. В., Волк Т. Р., Маврин Б. Н., Калинин В. Т. Ниобат лития: дефекты, фоторефракция, колебательный спектр, поляритоны. М.: Наука, 2003. 255 с.
7. Бережной А. А. Индуцированная оптическая анизотропия в фоторефрактивных кристаллах // Оптический журнал. 1995. № 1. С. 6—23.
8. Сидоров Н. В., Крук А. А., Яничев А. А., Палатников М. Н., Калинин В. Т. Проявление двулучепреломления в кристалле ниобата лития в фоторефрактивном и комбинационном рассеянии света // ДАН. 2014. Т. 459, № 1. С. 58—61.
9. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. М.: Наука, Изд-во МГУ, 2004. 659 с.
10. Пикуль О. Ю., Куликова Г. В., Строганов В. И. Трансформация коноскопических картин кристалла при изменении оптической системы наблюдения // Изв. вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56, № 1. С. 55—57.
11. Gunter P., Huignard J.-P. Photorefractive materials and their applications 2. Materials. Springer Science + Busyness Media LLC, 2007.
12. Кузьминов Ю. С. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития. М.: Наука, 1987. 264 с.
13. Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб: Наука, 1992. 320 с.
14. Ярич А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987. 390 с.
15. Константинова А. Ф., Гречушников Б. А., Бокуть Б. В., Валяшко Е. Г. Оптические свойства кристаллов. М.: Наука и техника, 1995. 302 с.
16. Лопатина П. С., Криштоп В. В. Распределение индуцированного двулучепреломления в кристалле ниобата лития в неоднородном внешнем поле // Оптический журнал. 2010. Т. 77, № 6. С. 61—63.

#### Сведения об авторе

**Виталий Александрович Максименко** — канд. физ.-мат. наук; Дальневосточный государственный университет путей сообщения, управление аспирантуры, докторантуры и подготовки научных кадров; ст. научный сотрудник;  
E-mail: mva30@mail.ru

Поступила в редакцию  
20.03.19 г.

**Ссылка для цитирования:** Максименко В. А. Поляризационно-интерференционный метод исследования фоторефрактивного эффекта в одноосных кристаллах // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 8. С. 729—733.

### POLARIZATION-INTERFERENCE METHOD FOR STUDYING PHOTOREFRACTIVE EFFECT IN UNIAXIAL CRYSTALS

V. A. Maksimenko

Far Eastern State Transport University, 680021, Khabarovsk, Russia  
E-mail: maximenko@festu.khv.ru

Optically induced defects in photorefractive crystals are studied. The possibility of application of polarization-interference method is considered. The experimental conditions for studying photoinduced defects in lithium niobate crystals by analyzing the polarization interference are formulated. A technique is proposed that allows for determination of the photoinduced birefringence value of a crystal in the region of the induced defect by the level of light intensity transmitted through the system. Schematic diagram of an experimental setup for studying the kinetics of the photoinduced defects formation in uniaxial crystals is presented.

**Keywords:** interference of polarized light waves, uniaxial crystals, photorefractive effect, birefringence, optically induced defects, lithium niobate crystal

#### REFERENCES

1. Syuy A.V., Stroganov V.I., Krishtop V.V., Lihtin V.V. *Proc. of SPIE*, 2007, vol. 6595.
2. Guibaly F., Young L. *Ferroelectrics*, 1983, vol. 46, pp. 201–208.
3. Maksimenko V.A., Syuy A.V., Karpets Yu.M. *Fotoindutsirovannyye protsessy v kristallakh niobata litiya* (Photoinduced Processes in Lithium Niobate Crystals), Moscow, 2008, 96 p. (in Russ.)

4. Sidorov N.V., Palatnikov M., Yanichev A.A., Gabain A.A., Pikoul O.Yu., and Smirnov A.N. *Optics and Spectroscopy*, 2013, no. 4(115), pp. 523–528. DOI: 10.1134/S0030400X13100159
5. Maksimenko V.A., Krishtop V.V. *Proc. of SPIE*, 2016, vol. 10176, DOI: 10.1117/12.2268254.
6. Sidorov N.V., Volk T.R., Mavrin B.N., Kalinnikov V.T. *Niobat litiya: defekty, fotorefraktsiya, kolebatel'nyy spektr, polyaritony* (Lithium Niobate: Defects, Photorefraction, Vibrational Spectrum, Polaritons), Moscow, 2003, 255 p. (in Russ.)
7. Berezhnoy A.A. *Journal of Optical Technology*, 1995, no. 1, pp. 6–23. (in Russ.)
8. Sidorov N.V., Kruk A.A., Yanichev A.A., Palatnikov M.N., Kalinnikov V.T. *Doklady Physical Chemistry*, 2014, no. 1(459), pp. 173–176.
9. Akhmanov S.A., Nikitin S.Yu. *Fizicheskaya optika* (Physical Optics), Moscow, 2004, 659 p. (in Russ.)
10. Pikul' O.Yu., Kulikova G.V., Stroganov V.I. *Journal of Instrument Engineering*, 2013, no. 1(56), pp. 55–57. (in Russ.)
11. Gunter P., Huignard J.-P. *Photorefractive materials and their applications 2. Materials*, Springer Science + Busyness Media LLC, 2007.
12. Kuz'minov Yu.S. *Elektroopticheskiy i nelineynoopticheskiy kristall niobata litiya* (Electro-Optical and Non-Linear Optical Lithium Niobate Crystal), Moscow, 1987, 264 p. (in Russ.)
13. Petrov M.P., Stepanov S.I., Khomenko A.V. *Fotorefraktivnyye kristally v kogerentnoy optike* (Photorefractive Crystals in Coherent Optics), St. Petersburg, 1992, 320 p. (in Russ.)
14. Yariv A., Yeh P. *Optical Waves in Crystals*, John Wiley & Sons, 1984.
15. Konstantinova A.F., Grechushnikov B.A., Bokut' B.V., Valyashko Ye.G. *Opticheskiye svoystva kristallov* (Optical Properties of Crystals), Moscow, 1995, 302 p. (in Russ.)
16. Lopatina P.S., Krishtop V.V. *Journal of Optical Technology*, 2010, no. 6(77), pp. 399–400. (in Russ.)

#### Data on author

**Vitaly A. Maksimenko** — PhD; Far Eastern State Transport University, Department of Post-Graduate Study, Doctoral Studies and Scientific Training; Senior Scientist; E-mail: mva30@mail.ru

**For citation:** Maksimenko V. A. Polarization-interference method for studying photorefractive effect in uniaxial crystals. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 8. P. 729–733 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-8-729-733