

- [4] Дубицкий А. Л., Кернер Б. С., Осипов В. В. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 5. С. 1290—1295; Тез. докл. I Всес. конф. по физическим и физико-химическим основам микроэлектроники. Вильнюс, 1987. С. 431.
- [5] Kerner B. S., Osipov V. V. // Nonlinear waves. Dynamics and evolution. N. Y.—Berlin—Heidelberg, 1988.
- [6] Грибников З. С., Прима Н. А. // ФТП. 1984. Т. 18. № 3. С. 508—512.
- [7] Гафийчук В. В., Кернер Б. С., Осипов В. В., Теслюк И. В. // ФТТ, наст. вып. С. 46.

Институт физики АН УССР  
Киев

Поступило в Редакцию  
30 марта 1989 г.

УДК 535.212.12

Физика твердого тела, том 31, в. 8, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, N 8, 1989

## ФОТОРЕФРАКТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}-\text{Pr}^{3+}$

А. А. Каминский, В. Г. Лазарев, В. М. Фридкин,  
С. Б. Астафьев, А. В. Бутахин

Впервые в фоточувствительном пьезоэлектрическом кристалле наблюдается фоторефракция, обусловленная объемным фотовольтаическим эффектом. Явление обнаружено в широкозонном ( $E_g \approx 5.4$  эВ) пьезоэлектрике  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}-\text{Pr}^{3+}$  с разупорядоченной структурой Са-галлогерманата (пространственная группа  $D_3^2-P321$ ) в поле излучения Ar лазера, длина волны которого соответствует межмультиплетному абсорбционному ( $\alpha^* \approx 0.45 \text{ см}^{-1}$ ) каналу  ${}^3H_4 \rightarrow {}^3P_0$  ионов — активаторов  $\text{Pr}^{3+}$ . Ранее у  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  (с активаторами и без них) были исследованы люминесцентные, лазерные, оптические (включая нелинейные), упругие, диэлектрические и другие свойства [1, 2]. Фоторефрактивный эффект дополняет это уникальное сочетание физических свойств у кристаллов  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  и может обусловить интересные особенности при их использовании для фоторефрактивной записи информации и в адаптивной оптике.

В эксперименте исследовались ориентированные по осям X, Y, Z ( $X \parallel 2, Z \parallel 3$ ) образцы с размерами  $5 \times 4 \times 3$  мм соответственно, выращенные методом Чохральского в условиях, близких приведенным в [1]. Концентрация ионов  $\text{Pr}^{3+}$  составляла около  $3.5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Измерения объемного фотовольтаического и фоторефрактивного эффектов проводились при  $T = 300 \text{ К}$  по известным методикам [3, 4].

Как видно из рис. 1, измеренные при освещении образца вдоль оси Z ориентационно-угловые зависимости линейных фотовольтаических токов  $J_X$  и  $J_Y$  обнаруживают хорошее согласие с феноменологическими выражениями для соответствующих токов, учитывающими оптическую активность кристалла [5]

$$J_x(\xi) = \alpha_{11} I \frac{\sin \rho d}{\rho d} \cos(2\beta + \rho d), \quad (1)$$

$$J_y(\xi) = -\alpha_{11} I \frac{\sin \rho d}{\rho d} \sin(2\beta + \rho d) \quad (2)$$

при  $\alpha_{11} = (9.0 \pm 1.1) \cdot 10^{-12} \text{ А} \cdot \text{Вт}^{-1}$ . Здесь  $\rho \approx 5.8^\circ/\text{мм}$  — удельное вращение  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  [2];  $d$  — толщина образца;  $\beta$  — угол между вектором поляризации света E и осью X;  $I = 96 \text{ мВт}/\text{см}^2$  — интенсивность света. Величина фотовольтаической константы  $k_{11} = \alpha_{11}/\alpha^* = (2.0 \pm 0.25) \cdot 10^{-11} \text{ А} \cdot \text{Вт}^{-1}$ . см является промежуточной между  $k_{11} = 1.0 \cdot 10^{-13} \text{ А} \cdot \text{Вт}^{-1}$ . см в естественно окрашенном кварце и  $k_{33} = 1.5 \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{Вт}^{-1}$ . см в ниобате лития с железом [3] ( $\alpha^* = 0.45 \text{ см}^{-1}$  — оптическое поглощение).

Нами был обнаружен значительный по величине фоторефрактивный эффект. Геометрическая схема измерений представлена на вставке к рис. 2 (1 — образец, 2 — световой зонд). Кристалл освещался вдоль оси  $Z$  линейно-поляризованным светом. Световой зонд представлял полосу с размерами  $1.8 \times 0.18$  мм. Вектор поляризации  $E$  падающего излучения мог

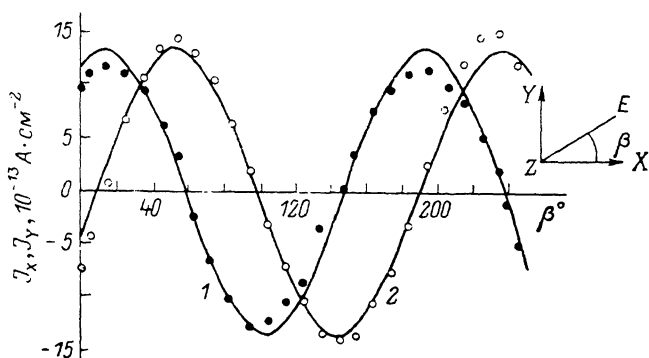


Рис. 1. Ориентационно-угловые зависимости фотовольтаических токов  $J_X(\beta)$  (1) и  $J_Y(\beta)$  (2) в  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}-\text{Pr}^{3+}$ .

Точки — экспериментальные данные, сплошная линия — аппроксимация по формулам (1) и (2).

иметь три ориентации:  $E_1$  ( $\beta=8.5^\circ$ ),  $E_2$  ( $\beta=98.5^\circ$ ) и  $E_3$  ( $\beta=53.5^\circ$ ), которые были выбраны исходя из симметрии исследуемого явления и оптического вращения образца.

Из (1), (2) видно, что для  $E \parallel E_1$  фотовольтаический ток  $J_X = \alpha_{11} I (\sin \rho d) / \rho d$ , а для  $E \parallel E_2$   $J_X = -\alpha_{11} I (\sin \rho d) / \rho d$ , тогда как  $J_Y = 0$

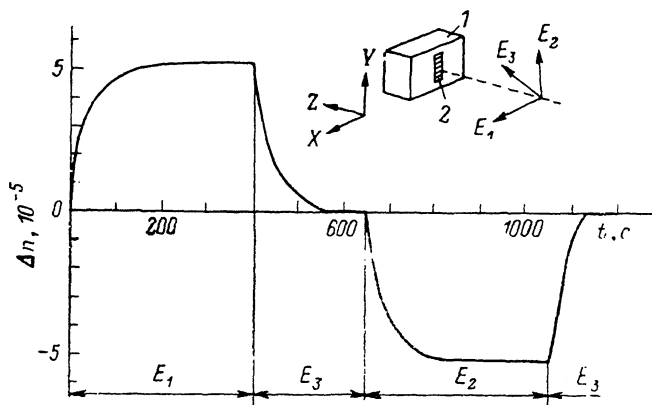


Рис. 2. Кинетика записи и стирания фоторефракции в  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}-\text{Pr}^{3+}$  для трех ориентаций вектора поляризации света.  $P=115$  мВт,  $\lambda=514$  нм.

в обоих случаях. Возникающее при этом в освещенной области кристалла фотовольтаическое поле  $\mathcal{E}_X = -J_X / \sigma$  ( $\sigma$  — проводимость) должно приводить вследствие линейного электрооптического эффекта к возникновению линейного двупреломления, т. е. к фоторефракции

$$\delta_n = n_X^{(\text{лин})} - n_Y^{(\text{лин})} = -r_{11} n_0^3 \mathcal{E}_X, \quad (3)$$

где  $r_{11}$  — электрооптический коэффициент;  $n_X^{(\text{лин})} = n_0 + \delta n / 2$ ,  $n_Y^{(\text{лин})} = n_0 - \delta n / 2$  — показатели преломления, которыми обладал бы кристалл, если бы отсутствовала оптическая активность. Согласно (1) и (3), фоторефракция  $\delta n$  должна иметь противоположные знаки для случаев  $E \parallel E_1$  и  $E \parallel E_2$ . При  $E \parallel E_3$   $\delta n$  не возникает и освещение кристалла, в котором была создана фоторефракция, приводит к стиранию ее вследствие деполяризации освещенной области за счет фотопроводимости.

Все эти выводы подтверждаются экспериментальными результатами. На рис. 2 показана кинетика роста фоторефракции  $\Delta n$  при освещении кристалла линейно-поляризованным светом с  $E \parallel E_1$  и  $E \parallel E_2$ . Видно, что для этих случаев знаки фоторефракции противоположны, а величина ее достигает  $0.52 \cdot 10^{-4}$  при мощности лазерного излучения в пятне  $P \approx 115$  мВт. При  $E \parallel E_3$  происходит стирание фоторефракции.

Приведенные на рис. 2 величины  $\Delta n$  определялись в приближении линейно-поляризованных собственных волн из соотношения

$$\Delta n = \Delta \Gamma (i/2\pi d), \quad (4)$$

где  $\Delta \Gamma$  — разность хода для пробной волны, измеряемая с помощью расположенного за образцом фазового компенсатора. Оптическая активность кристалла в направлении  $Z$  практически не влияла на результаты измерения фоторефракции компенсационным методом. Детальный расчет методики эксперимента, выходящий за рамки краткого сообщения, показывает, что учет эллиптичности собственных волн при вычислении фотоиндуцированного линейного двупреломления из экспериментальных данных приводит к поправкам порядка 9 % от определяемой из (4) величины  $\Delta n$ .

Наблюдаемая величина фоторефракции согласуется с (3). Подставляя в (3) независимо измеренные нами значение  $r_{11} = (3.15 \pm 0.7) \cdot 10^{-10}$  см  $\cdot$  В $^{-1}$  и величину фотовольтаического поля в освещенной области  $\mathcal{E}_X = 18 \times 10^3$  В  $\cdot$  см $^{-1}$ , имеем  $\delta n \approx 4.0 \cdot 10^{-5}$ , что находится в удовлетворительном соответствии с экспериментальной величиной  $\Delta n$ . Время темновой релаксации фоторефракции согласуется с временем максвелловской релаксации и составляет несколько часов.

Зависимость величины и знака фоторефракции от поляризации света, а также сделанные оценки служат доказательством того, что механизм фоторефракции в кристаллах  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14} - \text{Pr}^{3+}$  связан с линейным фотовольтаическим эффектом. Эта особенность (зависимость знака фоторефракции от поляризации индуцирующего излучения) делает  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  актуальным материалом для фоторефрактивной записи и адаптивной оптики [3, 4].

Авторы благодарят А. Ф. Константинову за обсуждение результатов и Б. В. Милля, под руководством которого были выращены кристаллы.

#### Список литературы

- [1] Kaminskii A. A., Mill B. V., Khodzhabagyan G. G. et al. // Phys. St. Sol. 1983. V. 80. N 1. P. 387—398.
- [2] Каминский А. А., Аминов Л. К., Ермолаев В. Л. и др. Физика и спектроскопия лазерных кристаллов М.: Наука, 1986. 272 с.
- [3] Fridkin V. M. Photoferroelectrics. Berlin: Springer—Verl., 1979. V. 9. 174 p.
- [4] Photorefractive Materials and Their Applications / Ed. P. Gunter and J.-P. Huignard. Berlin: Springer—Verl., cop., 1988. V. 1: Fundamental Phenomena. 295 p.
- [5] Fridkin V. M., Lazarev V. G., Levin Yu. E. et al. / Ferroelectrics Lett. 1984. V. 2. N 2. P. 97—100.

Институт кристаллографии АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
15 ноября 1988 г.  
В окончательной редакции  
3 апреля 1989 г.