

## Аномально-некритичное по температуре двулучепреломление в двухосных оптических кристаллах

С.Г.Гречин\*, В.Г.Дмитриев\*\*, В.А.Дьяков\*\*\*, В.И.Прялкин\*\*\*

*Теоретически предсказано и впервые экспериментально обнаружено некритичное по температуре двулучепреломление в двухосном кристалле. На длине волны основного излучения 632.8 нм в кристалле КТР длиной 5.9 мм ширина температурной кривой (интервал температурной независимости двулучепреломления) составила более 160 °С.*

**Ключевые слова:** оптические кристаллы, двулучепреломление, температурная зависимость.

В работе [1] нами сообщалось о реализации некритичного по температуре синхронизма при ГВГ в нелинейных кристаллах на примере кристалла КТР. Экспериментально была получена перестроечная кривая с шириной более 200 °С. Там же было показано, что этот эффект может иметь место в однородных кристаллах и кристаллах с регулярной доменной структурой для всех процессов нелинейно-оптического преобразования частоты: генерации 3-й, 4-й и более высокого порядка гармоник, генерации суммарной и разностной частот, параметрического усиления и параметрической генерации; иными словами, во всех случаях, когда первая производная по температуре для соответствующей фазовой расстройки равна нулю.

Можно было ожидать, что в двухосных кристаллах также существуют направления, для которых двулучепреломление слабо зависит от температуры. В различного типа устройствах на анизотропных средах – амплитудных и фазовых электрооптических модуляторах, демодуляторах, затворах, модуляторах добротности, частотных фильтрах (фильтрах Лио, Шольца), сканерах и др. [2] – взаимодействие определяется разностью фаз  $\Delta\varphi$  между распространяющимися в среде волнами двух различных типов с одной частотой. Определяющую роль в температурной стабильности процесса играет зависимость показателей преломления от температуры:

$$\Delta\varphi = k_0 L \left[ (n_1 - n_2) + \left( \frac{\partial n_1}{\partial T} - \frac{\partial n_2}{\partial T} \right) \Delta T + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 n_1}{\partial T^2} - \frac{\partial^2 n_2}{\partial T^2} \right) \Delta T^2 + \dots \right], \quad (1)$$

где  $n_1, n_2$  – показатели преломления взаимодействующих волн;  $k_0$  – волновое число в свободном пространстве;  $L$  –

длина среды. Наибольший вклад в  $\Delta\varphi$  при изменении температуры дает разность первых производных показателей преломления. Уменьшение вклада температурно-зависимой части в (1) и получение некритичного по температуре режима возможно только в двухосных кристаллах при надлежащем выборе угла среза кристалла, когда разность первых производных в (1) будет равна нулю. Возможность реализации этого режима нетрудно оценить с помощью отношения температурных производных для главных значений показателей преломления. В кристалле КТР (титанил-фосфат калия) такой режим будет иметь место в плоскости  $xz$ , т. к., согласно [3], для этого кристалла выполняются следующие соотношения между температурными производными:

$$\frac{\partial n_x}{\partial T} < \frac{\partial n_y}{\partial T} < \frac{\partial n_z}{\partial T}. \quad (2)$$

При надлежащем выборе угла среза  $\Theta$  можно обеспечить равенство первых производных по температуре для взаимодействующих волн.

С использованием программы серии LID (Laser Investigator & Designer, <http://www.bmstu.ru/~lid>) нами была выполнена серия расчетов для кристалла КТР. Результаты расчетов показали, что на длине волны излучения 632.8 нм некритичное по температуре взаимодействие будет иметь место при  $\Theta = 36.4 - 46^\circ$  (при использовании показателей преломления и их температурных производных, полученных разными авторами). Отсутствие данных о температурных производных второго и более высокого порядков не позволяет провести расчеты для температурной ширины взаимодействия.

Экспериментальный поиск этого направления и изменение температурной зависимости двулучепреломления проводились по традиционной методике (схема скрещенных поляризаторов). Измерения были выполнены для четырех образцов кристалла КТР длиной 4.35, 5.37, 4.75 и 5.9 мм, выращенных в МГУ (кристаллы имели, соответственно, следующие срезы:  $x$ -срез с  $\varphi = 0, \Theta = 90^\circ$ ,  $y$ -срез с  $\varphi = 90^\circ, \Theta = 90^\circ$ ,  $z$ -срез с  $\varphi = 0, \Theta = 0$  и срез для взаимодействия в плоскости  $xz$  с  $\Theta = 40^\circ$  и  $\varphi = 0$ ). Плоскость поляризации излучения He-Ne-лазера ориентировалась под углом  $45^\circ$  к оси  $y$ . На выходе из кристалла устанавливался анализатор. При нагреве кристалла разное из-

\*НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э.Баумана, Россия, 107005 Москва, 2-я Бауманская, 5; эл. почта gena@mx.bmstu.ru

\*\*Федеральное государственное унитарное предприятие НИИ «Полус», Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3; эл. почта: vgdmitr@orc.ru

\*\*\*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119899 Москва, Воробьевы горы; эл. почта: dva@crystal.ilc.msu.ru, vip@crystal.ilc.msu.ru

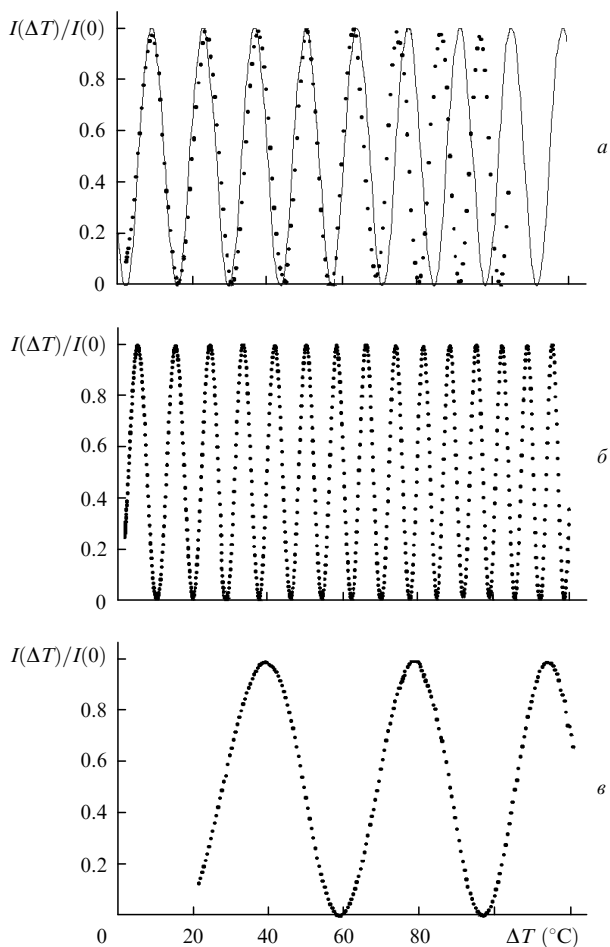


Рис. 1. Температурные кривые для  $x$ -среза ( $a$ ),  $y$ -среза ( $b$ ) и  $z$ -среза ( $v$ ) (точки – эксперимент, кривая на рис.1, $a$  – расчет).

менение длины оптического пути для обеих волн приводило к формированию интерференционной картины. Для  $x$ -,  $y$ - и  $z$ -срезов результаты измерений представлены на рис. 1 (точки – эксперимент, кривая на рис.1, $a$  – расчет с использованием начальных данных из [3, 4]). Ширина температурной кривой на уровне 0.5 составляет 7.1, 9.6 и 21.4°C соответственно для  $x$ -,  $y$ - и  $z$ -срезов при комнатной температуре. В области температур кристалла 120–150°C для  $x$ -,  $y$ - и  $z$ -срезов температурные ширины уменьшаются и составляют соответственно 5.6, 6.4 и 21°C. Следует отметить, что только для  $x$ -среза результаты расчета согласуются с экспериментом. Для  $y$ - и  $z$ -срезов отличие очень велико. Это говорит о необходимости более точного определения температурных зависи-

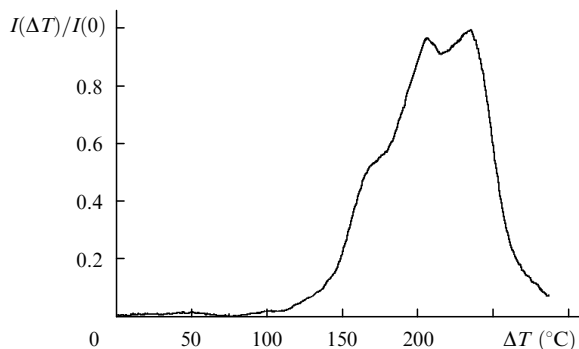


Рис. 2. Температурная кривая при  $\Theta = 39.3^\circ$  в некритичном по температуре режиме.

моостей показателей преломления и коэффициентов линейного расширения кристалла КТР.

Для  $\Theta = 39.3^\circ$  результат измерений представлен на рис. 2. Интенсивность излучения изменяется не более чем на 10% при нагреве кристалла на 136°C. На уровне 0.5 ширина кривой составляет 166°C. По форме кривой видно, что реализован некритичный по температуре режим. Также характер кривой показывает, что для моделирования некритичного по температуре двулучепреломления необходимо определять температурные зависимости показателей преломления до 4–5-го порядков. В направлении некритичного по температуре двулучепреломления для кристалла КТР угловая ширина на уровне 0.5 составляет 4', но размер области, в пределах которой реализуется некритичный по температуре режим, превышает десятки угловых минут.

Таким образом, использование некритичного по температуре двулучепреломления позволит создать большое число различного типа термостабильных устройств управления лазерным излучением. Кроме КТР, этот эффект может быть реализован также в кристалле LBO.

1. Гречин С.Г., Дмитриев В.Г., Дьяков В.А., Прялкин В.И. *Квантовая электроника*, **25**, 963 (1998); **26**, 77 (1999).
2. Ярив А., Юх П. *Оптические волны в кристаллах* (М., Мир, 1987). (Yariv A., Yeh P. *Optical waves in crystals* (Wiley, N.Y., 1984)).
3. Kato K. *IEEE J. Quantum Electron.*, **28**, 1974 (1992).
4. Kato K. *IEEE J. Quantum Electron.*, **27**, 1137 (1991).

S.G.Grechin, V.G.Dmitriev, V.A.D'yakov, V.I.Pryalkin. **Anomalous temperature-noncritical birefringence in biaxial optical crystals.**

Temperature-noncritical birefringence in a biaxial crystal has been theoretically predicted and experimentally observed for the first time. For a KTP crystal 5.9 mm long, the width of the temperature curve (the interval of temperature independence of birefringence) for a wavelength of 632.8 nm was found to be greater than 160°C.

