

УДК 536.0.22 : 0.23.001.5

В. Д. Анцыгин

(Новосибирск)

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ СЕМЕЙСТВА БОРАТОВ

Представлены результаты измерений теплопроводности и температуропроводности нелинейно-оптических кристаллов семейства боратов (ВВО, LBO и CLBO). Предложен бесконтактный вариант метода температурных волн, в котором используется температурная зависимость двулучепреломления кристаллов.

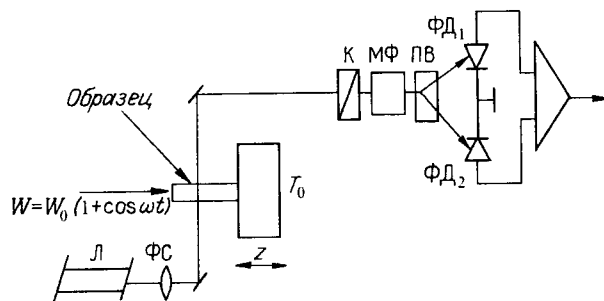
Монокристаллы метабората бария — β - BaB_2O_4 (ВВО), трибората лития — LiB_3O_5 (LBO) и цезий-литиевого бората — $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) — являются наиболее известными соединениями семейства боратов. Основными достоинствами этих материалов при использовании их для нелинейно-оптических преобразований являются: высокая прозрачность в ультрафиолетовой (УФ) области спектра, высокая лучевая прочность, а также достаточно высокая нелинейность и возможность фазового согласования в широкой области спектра от УФ до ближнего ИК-диапазона [1—3]. Поэтому кристаллы ВВО и LBO широко применяются для генерации гармоник, суммарных и разностных частот, особенно с использованием лазерных пучков большой мощности [4, 5].

Как известно, при работе с излучениями большой мощности повышаются требования к используемым активным материалам, поскольку даже незначительный их нагрев может приводить к нарушению условий синхронизма, изменению настройки лазерной системы вследствие термооптической дефокусировки и т. п. Поэтому при разработке лазерных систем и использовании нелинейно-оптических элементов необходимо знать тепловые свойства активных материалов: теплоемкость (c), плотность (ρ), теплопроводность (λ) или температуропроводность (κ). В литературе сведения о теплофизических свойствах боратов практически отсутствуют, а имеющиеся данные, например, о теплопроводности ВВО различаются у разных авторов в несколько раз.

В данной работе представлены результаты измерений теплопроводности и температуропроводности ВВО, LBO и CLBO и значения теплоемкости этих материалов, полученные на основе проведенных измерений.

Измерения теплопроводности и температуропроводности боратов выполнены бесконтактным методом температурных волн следующим образом.

Образец в форме удлиненного параллелепипеда одним торцом находится в тепловом контакте с массивным термостатом, имеющим комнатную температуру (см. рисунок). Другой торец образца нагревается потоком тепла (от пленочного нагревателя или модулированным излучением CO_2 -лазера), изменяющимся во времени по синусоидальному закону с частотой $\omega = 2\pi f$: $W(t) = W_0(1 + \cos\omega t)$.



Если боковые грани образца теплоизолированы, то распределение температуры вдоль образца можно получить, решая одномерное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial W}{\partial z} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}, \quad W = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (1)$$

с граничными условиями

$$W(0) = W_0(1 + \cos \omega t), \quad T(L) = T_0, \quad (2)$$

где L — длина образца.

Нетрудно показать, что если отражением волны от границы образца с термостатом можно пренебречь, то решение уравнения (1) при условиях (2) имеет вид:

$$T(z, t) = \left[\left(1 - \frac{z}{l}\right) l \frac{W_0}{\lambda} + T_0 \right] + \frac{W_0}{(1 + i)\lambda a} \exp(-az) \exp[i(\omega t - az)], \quad (3)$$

где

$$a = \sqrt{\omega/2\kappa}. \quad (4)$$

Из (3) видно, что, измеряя в этих условиях установившуюся (независимую от времени) температуру $T(z_1)$ и $T(z_2)$ на двух заданных расстояниях от края образца, можно определить его теплопроводность согласно выражению

$$\lambda = W_0 \left(\frac{z_2 - z_1}{T_1 - T_2} \right). \quad (5)$$

Аналогично, измеряя фазу переменной составляющей температуры в тех же точках $\varphi_1 = az_1$ и $\varphi_2 = az_2$, можно определить температуропроводность образца по формуле

$$\kappa = \left(\frac{\Delta z}{\Delta \varphi} \right)^2 \frac{\omega}{2} = \left(\frac{z_2 - z_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \right)^2 \frac{\omega}{2}. \quad (6)$$

Используя полученные значения λ и κ и зная удельную плотность вещества ρ , оценим объемную теплоемкость материала $c_v = c\rho = \lambda/\kappa$ и удельную теплоемкость $c = c_v/\rho$.

Для определения температуры в объеме образца использовалось изменение естественного двулучепреломления Δn , которое возникало при изменении температуры в области измерений: $\delta(\Delta n) = \alpha(\Delta T)$.

Измерения $\delta(\Delta n)$ осуществлялись с помощью эллипсометра [6], при этом пучок He—Ne-лазера (Л) фокусировался длиннофокусной системой (ФС) и проходил через образец перпендикулярно направлению распространения тепла. Эллиптическая поляризация прошедшего через образец света преобразовывалась компенсатором (К) в линейную, ортогональные компоненты которой

Кристалл	Физические параметры					
	ρ , г/см ³	c_p , Дж/г·К	$\lambda \cdot 10^3$, Вт/см·К		$\kappa \cdot 10^3$, см ² /с	
			Параллельно	Перпендикулярно	Параллельно	Перпендикулярно
ВВО	3,85 ± 0,01	0,50 ± 0,03	15,5 ± 0,1	12,1 ± 0,3	8,0 ± 0,1	6,3 ± 0,1
ЛВО	2,47 ± 0,01	1,05 ± 0,05	30,3 ± 0,5	39,7 ± 0,5	11,7 ± 0,2	15,3 ± 0,3
СЛВО	2,48 ± 0,01	0,93 ± 0,05	21,8 ± 0,8	20,3 ± 0,8	9,4 ± 0,5	8,8 ± 0,5

выделялись призмой Волластона (ПВ). Интенсивности пучков после ПВ регистрировались фотоприемниками (ФД₁, ФД₂), разностный сигнал которых усиливался и поступал в ПЭВМ, где преобразовывался в цифровую форму с помощью АЦП и обрабатывался с использованием редактора Microcal Origin 3.5.

Определение коэффициента $\alpha = \{hd(\Delta n)/dT + (\Delta n)dh/hdT\}$ (h — толщина образца) для данного кристалла и заданного направления поляризации света осуществлялось в начале измерений при калибровке эллипсометра с помощью модулятора Фарадея (МФ) и однородном нагреве образца на 2 °С. Перемещение образца вдоль z обеспечивалось микрометрическим винтом, типичное значение шага Δz составляло 0,2 мм.

Для выбора условий измерения таким образом, чтобы было справедливо приближение плоских волн ((3) — (6)), выполнялись измерения разности фаз температурных волн $\Delta\varphi$ при разных частотах модуляции. Интервал частот, используемый для измерений, выбирался в области линейной зависимости $\Delta\varphi$ от $\omega^{1/2}$ и для образцов длиной $L \sim 1$ см составил $f = 0,5—3$ Гц.

Полученные значения теплофизических параметров ВВО, ЛВО и СЛВО представлены в таблице. Значения теплопроводности λ и температуропроводности κ определены для направлений параллельно и перпендикулярно оптической оси кристалла соответственно.

Автор благодарен А. М. Юркину за образцы кристаллов боратов, представленные для измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eimerl D., Davis L., Velsko S. et al. Optical, mechanical, and thermal properties of barium borate // J. Appl. Phys. 1987. 62, N 5.
2. Харциева Т. Н. Новый перспективный нелинейный материал — триборат лития. Обзор // Электронная техника. Сер. 11. Лазерная техника и оптоэлектроника. 1992. 60, № 1, 2.
3. Mori Y., Kuroda I., Nakajima S. et al. New nonlinear optical crystal: Cesium lithium borate // Appl. Phys. Lett. 1995. 67, N 13.
4. Гурзядян Г. Г., Дмитриев В. Г., Никогосян Д. Н. Нелинейно-оптические кристаллы. Свойства и применение в квантовой электронике. М.: Радио и связь, 1991.
5. Nikogosyan D. N. Lithium triborate (LBO). A review of its properties and applications // Appl. Phys. A. 1994. 58. P. 181.
6. Antsigin V. D., Kostsov E. G., Malinovsky V. K. et al. Electrooptics of thin ferroelectric films // Ferroelectrics. 1981. 38. P. 761.

Поступила в редакцию 30 сентября 1997 г.