

## Измерение температуры оптических элементов с помощью пробного пьезоэлектрического кристалла

*А.Е. Корольков<sup>1,2</sup>, А.В. Коняшкин<sup>1,2</sup>, О.А. Рябушкин<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>ООО НТО «ИРЭ-Полус»

Развитие лазерных систем высокой мощности на сегодняшний день во многом ограничено проблемой разогрева оптических материалов в следствие поглощения лазерного излучения. Для определения низких коэффициентов поглощения широко используется метод лазерной калориметрии, суть которого заключается в измерении кинетики изменения температуры образца под действием лазерного излучения. Как правило температура образца регистрируется с помощью датчика, прикрепленного на его поверхности. Однако поглощение рассеянного излучения вызывает дополнительный разогрев датчика температуры, что приводит к искажению результатов. В работе [1] было продемонстрировано использование пьезоэлектрической резонансной спектроскопии для бесконтактного измерения температуры нелинейных оптических кристаллов, что позволило преодолеть описанный выше недостаток. В описанном методе образец сам является датчиком температуры. Однако этот метод неприменим для материалов, не являющихся пьезоэлектриками.

Для точного определения температуры образца из любого оптического материала мы предлагаем использовать пробный пьезоэлектрический кристалл, помещенный в тепловом контакте с образцом. Материал такого датчика выбирается из соображений прозрачности для лазерного излучения. Температура пробного кристалла определяется бесконтактно с помощью пьезоэлектрической резонансной спектроскопии.

Для проверки этой концепции мы использовали пьезоэлектрический кристалл кварца ( $4 \times 4 \times 7 \text{ мм}^3$ ) в качестве образца, чтобы иметь возможность определить его температуру с помощью пьезоэлектрической резонансной спектроскопии. Это позволит сравнить температуру, полученную с помощью кристалла образца и пробного кристалла. Маленький кристалл ниобата лития ( $0,1 \times 0,1 \times 5 \text{ мм}^3$ ) был использован в качестве пробного кристалла. Блок-схема экспериментальной установки изображена на рис. 1(а). Переменное напряжение от РЧ генератора через нагрузочный резистор прикладывается к конденсатору, между обкладками которого помещен пробный кристалл. Резонансная частота  $Rf$  определенного пьезоэлектрического резонанса зависит от температуры кристалла  $T$ . На рисунке 1(б) показана зависимость фазы напряжения на нагрузочном резисторе  $R$  от частоты вблизи пьезоэлектрического резонанса. Калибровочная зависимость частоты пьезоэлектрического резонанса от температуры демонстрирует линейную зависимость  $Rf(T) = Rf(T_0) + K^{prt}(T - T_0)$ . Значение коэффициента

$K^{prt}$  зависит от выбранной резонансной моды. При разогреве образца лазерным излучением мощностью  $P$  его стационарный неоднородный разогрев может быть описан эквивалентной температурой, вычисленной по значению частоты  $Rf$  пьезоэлектрического резонанса [1]:  $\Theta_{eq}(P) = T_0 + [Rf(P) - Rf(0)] / K^{prt}$ .  $T_0$  есть температура кристалла при  $P = 0$ .

Зависимости эквивалентной температуры пробного кристалла (ниобат лития) и температуры кристалла образца (кварц) от мощности лазерного излучения, проходящего через образец, представлены на рис. 2. Различие между этими графиками лежит в пределах погрешности. Это демонстрирует, что температура любого оптического элемента может быть определена пробным кристаллом с помощью пьезоэлектрической лазерной спектроскопии. Для иллюстрации метода мы применили его в лазерной калориметрии [2] для измерения коэффициента поглощения плавленого кварца на длине волны 1064 нм. При разогреве образца лазерным излучением измеряется кинетика изменения частоты пьезоэлектрического резонанса пробного кристалла, с которой линейно связана температура:

$$Rf(t) = [Rf(0) - Rf(P)] \exp(-t/\tau) + Rf(P)$$

Характерное время кинетики  $\tau$  и амплитуда  $Rf(0) - Rf(P)$  выражаются через коэффициент теплообмена  $h^T$ , коэффициент поглощения  $\alpha$ , массу образца  $M$ , теплоемкость образца  $C$ , площадь поверхности образца  $S$ , мощность лазерного излучения  $P$ :  $\tau = MC/Sh^T$ ,  $Rf(0) - Rf(P) = K^{prt} \alpha LP/Sh^T$ . Таким образом по кинетике разогрева образца может быть определен его коэффициент поглощения. Полученное значение коэффициента поглощения для образца из плавленного кварца:  $\alpha = (6,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ .

Таким образом, было продемонстрировано, что пробный пьезоэлектрический кристалл может быть использован в качестве температурного датчика для измерения температуры образца из любого оптического материала с помощью пьезоэлектрической резонансной спектроскопии. Главное преимущество данного подхода заключается в прозрачности температурного датчика для используемого лазерного излучения, что позволяет избежать его разогрева рассеянным излучением.

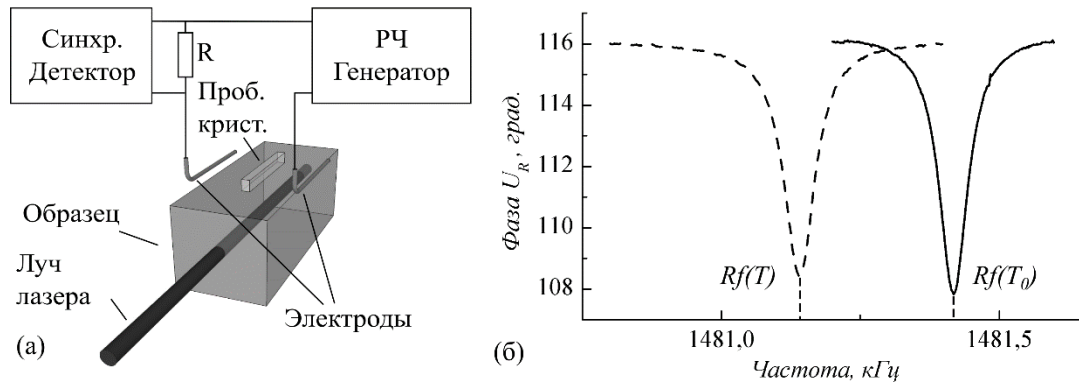


Рис. 1. (а) Блок-схема экспериментальной установки. (б) Фаза напряжения на сопротивлении R вблизи пьезоэлектрического резонанса при температурах  $T_0 = 22^\circ\text{C}$ ,  $T = 24^\circ\text{C}$ .

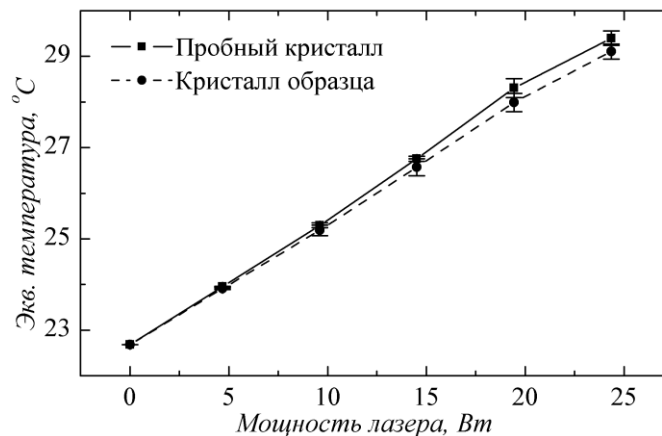


Рис. 2. Эквивалентная температура пробного кристалла и кристалла образца в зависимости от мощности лазерного излучения, проходящего через образец.

### Литература

1. Ryabushkin O.A., Myasnikov D.V., Konyashkin A.V., Tyrtyshtnyy V.A. Equivalent temperature of nonlinear-optical crystals interacting with laser radiation // J. Eur. Opt. Soc.-Rapid Publ. 2011. V. 6. P. 11032.
2. ISO 11551: Test method for absorptance of optical laser components // Geneva Switzerland: Int. Org. for Standardization. 2003.