

## ЭФФЕКТЫ ТЕРМОЛИНЗИРОВАНИЯ И НЕЛИНЕЙНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ КРИСТАЛЛА $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$ \*

✉ Е. Ю. Ерушин<sup>1,2</sup>, Н. Ю. Костюкова<sup>1,2</sup>,  
А. А. Бойко<sup>1,2</sup>, Г. С. Шевырдяева<sup>3</sup>, Д. В. Бадиков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

✉ render2012@yandex.ru

Параметрические преобразователи частоты являются эффективными и перестраиваемыми источниками излучения в среднем ИК-диапазоне. При создании подобных источников требуются нелинейные кристаллы, обладающие определенными физическими и оптическими свойствами. Одним из перспективных материалов для генерации излучения в данной области спектра является кристалл  $\text{BaGa}_2\text{GeSe}_6$  (BGGSe), прозрачный вплоть до 18 мкм [1, 2]. На основе этого кристалла была успешно реализована генерация разностной частоты для фемтосекундных импульсов [3, 4]. Недавние разработки в области миниатюрных сверхбыстрых лазерных хирургических инструментов для клинического применения [5, 6] указывают на необходимость использования лазера с частотой повторения импульсов от килогерцов до мегагерцов для быстрой резекции тканей. При проектировании оптических систем с высокой пиковой интенсивностью важным параметром, влияющим на эффективность параметрического преобразования, является нелинейное изменение показателя преломления. А в системах с высокой

средней мощностью доминирующий вклад в изменение показателя преломления вносит тепловая линза. Эти два эффекта вместе могут привести к значительному искажению луча в фокальной плоскости и/или повреждению оптической системы.

Данная работа посвящена измерению термооптического и нелинейного отклика кристалла BGGSe методом Z-сканирования. На рис. 1 показана зависимость фазового сдвига от частоты следования импульсов. На графике видно, что фазовый сдвиг линейно масштабируется со средней мощностью, указывая на то, что термоиндуцированные эффекты играют доминирующую роль в измерениях нелинейного показателя преломления при частотах следования, превышающих характерное время термодиффузии. На рис. 2 показаны измеренные кривые методом Z-сканирования с закрытой диафраг-

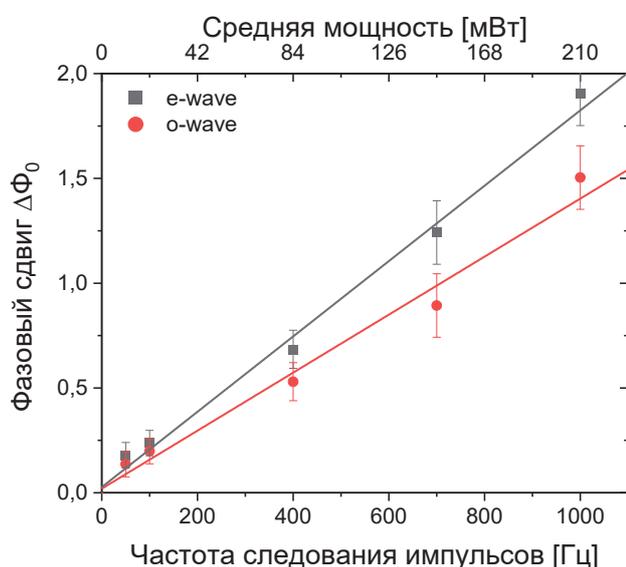


Рис. 1. Зависимость фазового сдвига от частоты следования импульсов при одинаковой пиковой интенсивности

\* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-22-00368).  
© Е. Ю. Ерушин, Н. Ю. Костюкова, А. А. Бойко, Г. С. Шевырдяева, Д. В. Бадиков, 2024

мой для обыкновенной и необыкновенной волн в установившемся режиме. В качестве источника излучения использовался непрерывный Nd: YAG лазер с длиной волны 1,064 мкм.

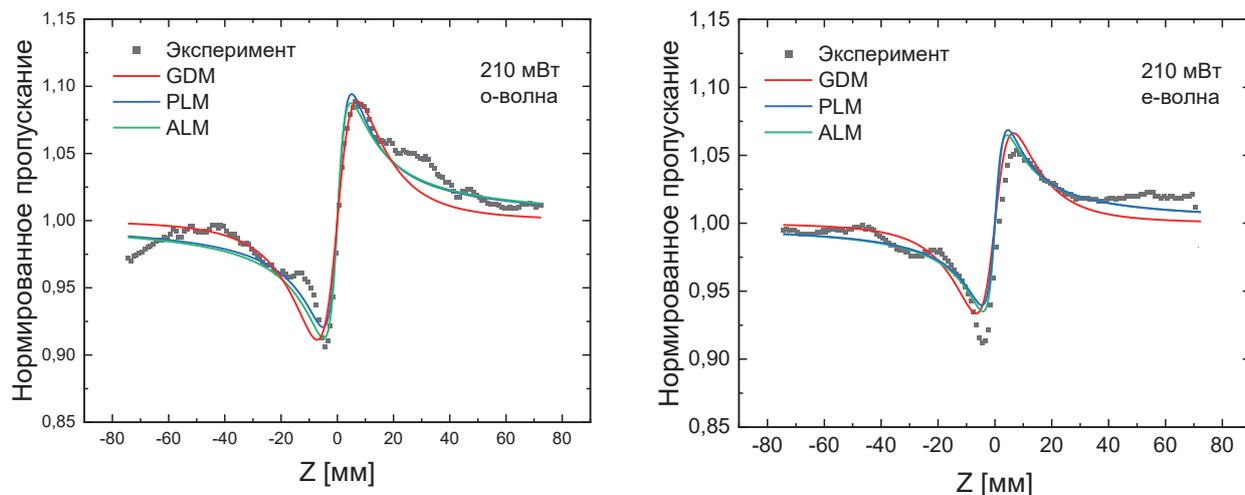


Рис. 2. Кривые пропускания, полученные методом Z-сканирования с закрытой диафрагмой для обыкновенной и необыкновенной волны в кристалле BGGSe при средней мощности 210 мВт

Экспериментальные кривые были аппроксимированы с помощью модели разложения Гаусса (GDM), параболической модели тепловой линзы (PLM) и абберационной модели тепловой линзы (ALM). Рассмотренные модели дают близкие результаты теплового показателя преломления к теоретически оцененным. Наиболее близкие значения длины Рэлея к экспериментально измеренным дает метод разложения Гаусса.

В результате исследования было установлено, что термоиндуцированные эффекты являются доминирующими в процессах самофокусировки в кристалле BGGSe при частотах следования импульсов выше 200 Гц. Методом Z-сканирования измерен термооптический и нелинейный отклик для обыкновенной и необыкновенной волны. Полученные результаты важны для проектирования оптических систем при разработке параметрических преобразователей частоты в лазерных системах для медицины, телекоммуникаций и метрологии.

### Литература

1. Badikov V. V., Badikov D. V., Laptev V. B. et al. Crystal growth and characterization of new quaternary chalcogenide nonlinear crystals for the mid-IR: BaGa<sub>2</sub>GeS<sub>6</sub> and BaGa<sub>2</sub>GeSe<sub>6</sub> // Opt. Mater. Express. 2016. Vol. 6. P. 2933–2938.
2. Kostyukova N., Erushin E., Boyko A., Shevyrdayeva G., Badikov D. Barium Chalcogenide Crystals: A Review // Photonics. 2024. Vol. 11. P. 281.
3. Elu U., Maidment L., Vamos L. et al. Few-cycle mid-infrared pulses from BaGa<sub>2</sub>GeSe<sub>6</sub> // Opt. Lett. Optica. 2020. Vol. 45. P. 3813–3815.
4. Kinyaevskiy I. O., Koribut A. V., Grudtsyn Y. V., Ionin M. V. Frequency conversion of femtosecond Ti: sapphire laser pulse to the long-wave mid-IR range with BaGa<sub>2</sub>GeSe<sub>6</sub> // Crystal. Jap Lett. 2024.
5. Hoy C. L., Durr N. J., Chen P. et al. Miniaturized probe for femtosecond laser microsurgery and two-photon imaging // Opt. Express. 2008. Vol. 16. P. 9996–10005.
6. Subramanian K., Gabay I., Ferhanoglu O. et al. Kagome fiber based ultrafast laser microsurgery probe delivering micro-Joule pulse energies // Biomed. Opt. Express. 2016. Vol. 7. P. 4639–4653.