

## ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛОВ $ZnGeP_2$ , НАПЫЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕНИДНЫХ И ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

✉ Е. С. Слюнько<sup>1,2</sup>, Н. Н. Юдин<sup>1-3</sup>, М. М. Зиновьев<sup>1-3</sup>, В. С. Кузнецов<sup>1,2</sup>,  
С. Н. Подзывалов<sup>1,2</sup>, А. Б. Лысенко<sup>1,2</sup>, А. Ю. Кальсин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Томский государственный университет, Томск, Россия*

<sup>2</sup> *ООО «Лаборатория оптических кристаллов», Томск, Россия*

<sup>3</sup> *Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, Россия*

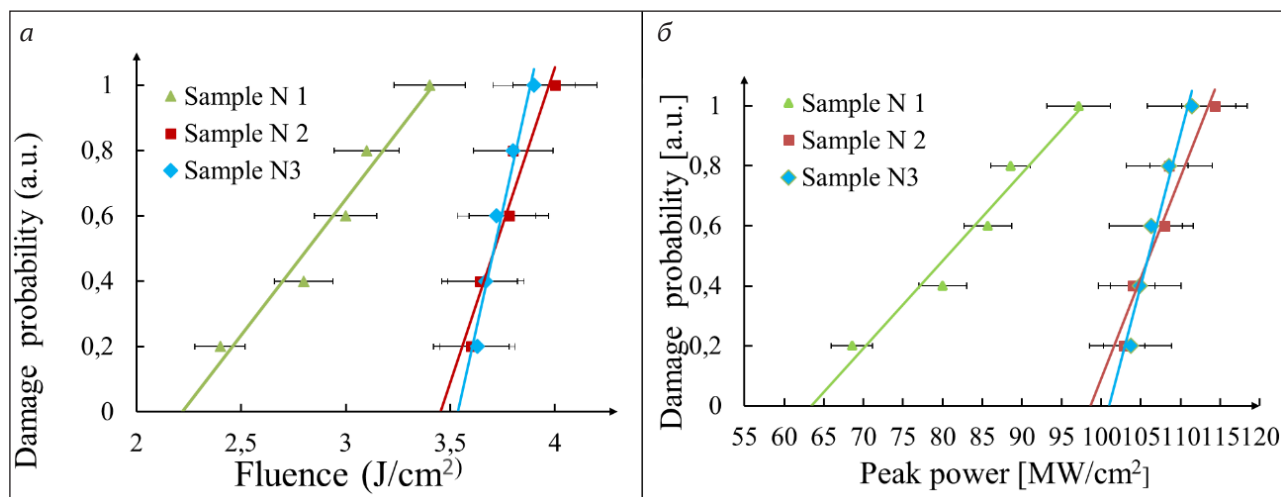
✉ elenohka266@mail.ru

Мощные оптические параметрические генераторы (ОРО) среднего ИК-диапазона на сегодня представлены нелинейно-оптическими кристаллами КТР, КТА,  $ZnGeP_2$ , GaSe и др. [1–3]. Так как показатель преломления материалов, работающих в ИК-области, велик (например, для  $ZnGeP_2$   $n \sim 3,15$  @  $2\mu m$ ), то без просветляющих покрытий присутствует большое отражение от рабочих граней (для  $ZnGeP_2$   $R \approx 25\%$  от одной грани) [4]. Поэтому для существенного повышения эффективности к таким системам предъявляются достаточно жесткие требования по величине остаточного отражения и порогу оптического пробоя (LIDT) как самого кристалла, так и оптического просветляющего покрытия.

Целью данной работы было исследование и отработка режимов распыления методом IBS, а также разработка оптического просветляющего покрытия для монокристаллической подложки ZGP с высокой величиной порога оптического пробоя и высокой скоростью распыления на основе пары материалов  $ZnSe/Al_2O_3$ . В качестве подложки был использован монокристалл ZGP. Предварительно была проведена полировка рабочих поверхностей. Перед загрузкой в напылительную камеру производилась очистка рабочих поверхностей подложек. На полированные грани образца методом IBS наносилось оптическое просветляющее покрытие. В качестве высокопреломляющего материала была выбрана монокристаллическая мишень ZnSe и ZnS. В качестве низкопреломляющего материала была выбрана керамическая мишень  $Al_2O_3$ .

Для разработки AR-покрытий, во-первых, мы исследовали монослои материалов, из которых в дальнейшем разрабатывали интерференционное покрытие. Далее мы получали дисперсионные характеристики используемых материалов. Расчет проводился по характеристикам пропускания и отражения исследуемых слоев, напыленных на оптическое стекло марки BK8 (в области длин волн 400–2000 нм) и германиевую пластину для описания их в ИК-области. Толщина напыляемых монослоев составляла порядка 1 мкм. Дисперсия показателя преломления  $Al_2O_3$  слабо изменяется в видимой области длин волн до 6 мкм,  $\Delta n \sim 0,15$ . В то же время в области длин волн свыше 6 мкм наблюдается достаточно резкое снижение показателя преломления и резкий рост поглощения. Это связано с наличием широкой резонансной линии поглощения в области 10–12 мкм, обусловленной наличием связей М-О [5]. Затем были определены оптические свойства монослоя ZnSe и ZnS. С помощью полученных оптических

характеристик материалов было рассчитано трехслойное AR-покрытие для подложки ZGP. Определение величины LIDT мы проводили по методике, подробно описанной в работах [6, 7]. Было протестировано три образца: № 1 без AR-покрытия; № 2 с AR-покрытием ZnS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; № 3 с AR-покрытием ZnSe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Результаты измерений приведены на рисунке. Измерения проводили на выборке из 10 точек для каждого образца, также дана статистическая погрешность определения величины LIDT.



Зависимость вероятности оптического пробоя от плотности энергии тестирующего лазерного излучения (а); зависимость вероятности оптического пробоя от плотности мощности тестирующего лазерного излучения (б). Результаты были получены при частоте следования импульсов 10 кГц и длительности импульса 35 нс

Таким образом, LIDT образца № 1 (без просветляющих покрытий) составил 23 Дж/см<sup>2</sup> по плотности энергии. LIDT образца № 2 (ZnS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) составил 3,45 Дж/см<sup>2</sup> по плотности энергии. Порог оптического пробоя образца № 3 (ZnSe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) составил 3,51 Дж/см<sup>2</sup> по плотности энергии. Наблюдается увеличение LIDT в 1,5 раза после нанесения просветляющего покрытия на основе материалов ZnSe и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Выбранные пары материалов обладают физико-химическими свойствами, способствующими хорошей адгезии многослойного покрытия к полированной поверхности кристалла и минимальным механическим напряжением между слоями и на границе подложка / пленка, что, как следствие, приводит к увеличению LIDT.

### Список литературы

1. Żendzian W., Jabczyński J., Wachulak P. High-repetition-rate, intracavity-pumped KTP OPO at 1572 nm // Appl. Phys. 2005. Vol. B80. P. 329–332.
2. Haakestad M. W., Fonnum H., Lippert E. Mid-infrared source with 0.2 J pulse energy based on nonlinear conversion of Q-switched pulses in ZnGeP<sub>2</sub> // Opt. Express. 2014. Vol. 22. P. 8556–8564.
3. Murphy F. J., Amrania H., Phillips C. C. Widely Tunable Midinfrared Radiation from GaSe OPO in Nonlinear Optics // Eds. Boulanger B., Cundiff S., Kauranen M., Knox W. OSA Technical Digest (online). Optica Publishing Group, 2013. Paper NW4A.21.
4. Aydin C., Zaslavsky A., Sonek G., Goldstein J. Reduction of reflection losses in ZnGeP<sub>2</sub> using motheye antireflection surface relief structures // Applied Physics Letters. 2002. Vol. 80. P. 2242–2244.

5. Wachs I. E. Raman and IR studies of surface metal oxide species on oxide supports: Supported metal oxide catalysts // Catal. Today. 1996. Vol. 27. P. 437–455.

6. Zinovev M., Yudin N. N., Kinyaevskiy I. et al. Multispectral Anti-Reflection Coatings Based on  $\text{YbF}_3/\text{ZnS}$  Materials on  $\text{ZnGeP}_2$  Substrate by the IBS Method for Mid-IR Laser Applications // Crystals. 2022. Vol. 12. P. 1408.

7. Zinoviev M., Yudin N. N., Podzvalov S. et al. Optical AR Coatings of the Mid-IR Band for  $\text{ZnGeP}_2$  Single Crystals Based on ZnS and Oxide Aluminum // Crystals. 2022. Vol. 12. P. 1169.