

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРИСТАЛЛА $ZnGeP_2$ НА ПОРОГ ОПТИЧЕСКОГО ПРОБОЯ

Н. Н. Юдин¹, М. М. Зиновьев¹, С. Н. Подзывалов¹, Е. С. Слюнко¹,
✉ А. Ю. Кальсин¹, А. Л. Худолей², Г. Р. Городкин², П. А. Кумейша²

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

² *Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

✉ andrejkalasin@gmail.com

В настоящее время наиболее мощные параметрические генераторы света (ПГС) в диапазоне длин волн 3,5–5 мкм разрабатываются на основе нелинейно-оптических кристаллов $ZnGeP_2$ [1]. Данные ПГС генерируют излучение со средней мощностью до 160 Вт и энергией импульса до 200 мДж при длительности импульса 20–60 нс [2–4]. Однако длительная безотказная работа мощных ПГС на основе $ZnGeP_2$ ограничивается порогом оптического пробоя поверхности материала. В связи с этим возникает необходимость совершенствования методов обработки рабочих поверхностей кристаллов для увеличения их порога оптического пробоя.

Одним из перспективных методов улучшения качества поверхности является магнитореологическая полировка [5] (МРП), которая в том числе все чаще используется при обработке лазерных кристаллов для повышения порога радиационной стойкости и снижения уровня шероховатости. Исследование, представленное в данной работе, посвящено проверке возможности использования магнитореологической обработки в качестве метода удаления дефектного слоя после тонкой полировки и снижения уровня шероховатости поверхности монокристаллического $ZnGeP_2$. Под определением дефектного слоя после тонкой полировки понимался изломанный слой, образующийся при механической полировке оптических материалов. Как правило, глубина этого слоя примерно вдвое превышает размер используемого абразива [6].

В работе исследовались образцы монокристалла $ZnGeP_2$ размерами $6 \times 6 \times 20$ мм. Для полировки рабочих поверхностей применялась магнитореологическая обработка, в которой использовалась неводная жидкость с магнитными частицами карбонильного железа и наноалмазами. В результате обработки значительно улучшились параметры шероховатости поверхности — в 17–1,42 раза (среднее арифметическое отклонение профиля $R_a = 1,54 \text{ \AA}$) по сравнению с традиционной методикой полировки кристаллов ($R_a = 27 \text{ \AA}$) с использованием водной суспензии алмазного порошка и смоляного шлифовального столика. Удаление материала с поверхности кристалла после МРП составило от 6,95 до 9,5 мкм. Полезное время обработки образца 6×6 составило 8 % от общего времени обработки. В связи с этим рекомендуется использовать групповой тип обработки кристаллов при МРП, чтобы минимизировать затраты времени на холостой ход и реверс рабочего инструмента, что значительно повысит эффективность использования промышленного оборудования. Таким образом, оба метода полировки позволили получить ангстремный уровень шероховатости поверхности, сравнимый по порядку величины с параметрами элементарной ячейки кристаллической решетки $ZnGeP_2$, что свидетельствует о том, что качество поверхности после МРП близко к максимально возможному.

© Н. Н. Юдин, М. М. Зиновьев, С. Н. Подзывалов, Е. С. Слюнко, А. Ю. Кальсин, А. Л. Худолей, Г. Р. Городкин, П. А. Кумейша, 2023

После полировки были определены параметры порога оптического пробоя. Среднее значение плотности энергии после классической полировки составило $3,1 \pm 0$ Дж/см³, а плотности мощности 88 ± 9 МВт/см²; после МРП 3 ± 0 Дж/см³ и 91 ± 9 МВт/см² соответственно. Как видим, результаты определения порога оптического пробоя для разных образцов укладываются в погрешность измерения.

Несмотря на то что образец, подвергнутый МРП, показал значительное улучшение параметров шероховатости поверхности по сравнению с образцом, отполированным по традиционной технологии, порог оптического пробоя практически не изменился. Отсутствие разницы в величине порога оптического пробоя для двух образцов, скорее всего, связано с тем, что на него больше всего влияют дислокации или объемные дефекты, «всплывающие» на полированной поверхности, а не уровень шероховатости. Таким образом, при ангстремовском уровне шероховатости решающим фактором для пробоя является концентрация объемных дефектов, «выходящих» на поверхность кристалла.

Список литературы

1. Schunemann P. G., Zawilski K. T., Pomeranz L. A. et al. Advances in nonlinear optical crystals for midinfrared coherent sources // J. Opt. Soc. Am. B. 2016. Vol. 33. P. D36–D43.
2. Hemming A., Richards J., Davidson A. A. et al. 99 W mid-IR operation of a ZGP OPO at 25 % duty cycle // Opt. Express. 2013. Vol. 21. P. 10062–10069.
3. 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 ZnGeP₂ // Opt. Express. 2014. Vol. 22. P. 8556–8564.
4. Qian C., Yao B., Zhao B. et al. High repetition rate 102 W middle infrared ZnGeP₂ master oscillator power amplifier system with thermal lens compensation // Opt. Lett. 2019. Vol. 44. P. 715–718.
5. Sutowska M., Sutowski, P. Contemporary applications of magnetoreological fluids for finishing process // J. Mech. Energy Eng. 2017. Vol. 1. P. 141–152.
6. Gerhard C., Stappenbeck, M. Impact of the polishing suspension concentration on laser damage of classically manufactured and plasma post-processed zinc crown glass surfaces // Appl. Sci. 2018. Vol. 8. P. 1556.