

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ СО РАН
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ СО РАН
ООО «ЛАБОРАТОРИЯ ОПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ»
ООО «ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ АЛМАЗНЫЕ УСТРОЙСТВА»

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФОТОНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ

**Материалы
всероссийской конференции
с международным участием
10–13 сентября 2024 г.**

Ответственный редактор Е. И. Липатов

Томск
Издательство Томского государственного университета
2024

УДК 535, 537.9, 538.9, 548
ББК 22.34, 22.37, 24.12, 24.5
М341

Редакционная коллегия выпуска:

Г.В. Майер, профессор, президент НИ ТГУ, Томск
В.В. Дёмин, доцент, первый проректор НИ ТГУ, Томск
А.Б. Ворожцов, профессор, проректор по НИД НИ ТГУ, Томск
А.Г. Кортаев, декан РФФ НИ ТГУ, Томск
В.В. Винс, директор ООО «ВЕЛМАН», Новосибирск
В.П. Попов, заведующий лабораторией ИФП СО РАН, Новосибирск
М.А. Головатов, начальник УИСНТТ НИ ТГУ, Томск
А.И. Грибенюков, с.н.с. ИМКЭС СО РАН, Томск
С.Н. Ульянов, Директор ООО «ЛОК», Томск
Е.И. Липатов, заведующий ЛКИТ РФФ НИ ТГУ, ИСЭ СО РАН, Томск
Н.Н. Юдин, директор НОЦ ОФТ НИ ТГУ, Томск
А.В. Тяжев, заведующий ЛДСИ ЦПТМ НИТГУ, Томск
М.В. Тригуб, заместитель директора НР ИОА СО РАН, Томск

М341 **Материалы и технологии фотоники, электроники и нелинейной оптики:** материалы Всероссийской конференции с международным участием, 10–13 сентября 2024 г. / отв. ред. Е.И. Липатов. – Томск : Издательство Томского государственного университета, 2024. – 88 с.

ISBN 978-5-907890-18-3

Всероссийская конференция с международным участием «Материалы и технологии фотоники, электроники и нелинейной оптики» была проведена в Томском государственном университете с 10 по 13 сентября 2024 г.

Сборник содержит материалы тезисов докладов, посвященных новейшим достижениям в фотонике, электронике, нелинейной оптике и квантовых технологиях на основе современных и перспективных материалов. Круг рассматриваемых вопросов простирается от синтеза оптических и полупроводниковых материалов до создания оптоэлектронных и полупроводниковых приборов и систем.

УДК 535, 537.9, 538.9, 548
ББК 22.34, 22.37, 24.12, 24.5

ISBN 978-5-907890-18-3

© Томский государственный университет, 2024
© Авторы статей, 2024

ВЛИЯНИЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИРОВКИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ $ZnGeP_2$ НА ОПТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ КРИСТАЛЛА

*Е. С. Слюнько^{1,2}, Н. Н. Юдин^{1,2}, С. Н. Подзывалов^{1,2}, А. Б. Лысенко^{1,2},
А. Ю. Кальсин^{1,2}, А. Ш. Габдрахманов^{1,2}*

¹ Томский государственный университет, Томск, Россия

² ООО «Лаборатория оптических кристаллов», Томск, Россия

Импульсно-периодические источники мощного когерентного излучения среднего инфракрасного диапазона (ИК) диапазона имеют целый ряд применений во многих областях науки и техники. Источники когерентного излучения среднего ИК излучения применяются для обработки материалов методом скрайбирования и термораскола [1, 2]. Одними из самых эффективных твердотельных источников когерентного излучения в среднем ИК диапазоне являются параметрические генераторы света (ПГС). Наиболее мощные ПГС в диапазоне длин волн 3,5–5 мкм созданы в настоящее время на основе нелинейно-оптических кристаллов $ZnGeP_2$ (ZGP) [3]. Однако, долговременная работа без отказа мощных ПГС на основе ZGP ограничивается оптическим пробоем поверхности данного материала. В связи с этим, потенциал практического использования данных ПГС среднего ИК диапазона неразрывно связан, с повышением их порога оптического пробоя.

Для проведения исследований были изготовлены 4 образца монокристалла ZGP с размерами $6,1 \times 6,1 \times 20$ мм³. Исследуемые образцы были вырезаны из одной и той же монокристаллической булы ZGP. Все 4 образца перед полировкой были облучены потоком быстрых электронов. Поглощение излучения, с учетом многократного отражения от граней кристалла, на длине волны 2,097 мкм у всех образцов составило $0,03$ см⁻¹ при комнатной температуре.

Начальная обработка поверхностей всех образцов (1-4) заключалась в тонком шлифовании. Образцы 2 и 3 далее традиционной полировке не подвергались. Обработка рабочих поверхностей состояла в располировке на батистовом полировальнике с использованием синтетического алмазного порошка. При этом сьем материала составлял ~ 50 мкм с каждой стороны. После этого образцы тонко доводили на специальном полировальнике, изготовленном из смолы с использованием синтетического алмазного порошка.

Далее образцы 2, 3 и 4 дополнительно подвергались магнито-реологической обработке (МРО) с двух торцов. Сьем материала с обеих полированных сторон при использовании МРО составил: для образца 2–150 мкм, для образца 3–38,15 мкм, для образца 4–17,8 мкм.

Для исследования порога оптического пробоя использовался Ho:YAG лазер, генерирующий излучение на длине волны 2,097 мкм с накачкой непрерывным тулиевым волоконным лазером. Ho:YAG лазер работал в режиме активной модуляции добротности с длительностью импульсов $\tau = 5$ нс и частотой следования импульсов 10 кГц. Измеренный диаметр лазерного пучка на входной апертуре исследуемых образцов составил во всех экспериментах $d = (340 \pm 20)$ мкм по уровню $1/e^2$ от максимальной интенсивности. Максимальная средняя мощность излучения, генерируемого Ho:YAG лазером, составляла 20 Вт в линейно поляризованном гауссовом пучке (параметр $M2 \leq 1,2$). Более подробная информация о стенде и его параметрах изложена в [4].

В табл. 1 представлены результаты исследования порога оптического пробоя для ZGP методом R-on-1. В табл. 1 приведены значения плотности энергии W_{od}^E и плотности мощности W_{od}^P , при вероятности оптического пробоя 0, среднее значение плотности энергии W_D^E , и плотности мощности W_D^P с учетом погрешности измерения, коэффициент Стьюдента k при доверительной вероятности 0,98, количество измерений N .

Таблица 1. Результаты определения порога оптического пробоя для образцов ZGP

Образец	Глубина МРО съема, мкм	k	W_D^E , Дж/см ²	W_{od}^E , Дж/см ²	W_{od}^P , МВт/см ²	W_D^P , МВт/см ²
1	0	2,8	(2,9 ± 0,5)	2,08	59	(88 ± 15)
2	150	2,8	(2,5 ± 0,7)	1,22	34	(70 ± 22)
3	38,15	2,8	(2,8 ± 0,5)	1,96	56	(81 ± 15)
4	17,8	2,8	(3,0 ± 0,5)	2,45	70	(87 ± 11)

Из данных представленных в таблице 1 можно установить, что глубина МРО полировки значительно влияет на порог оптического пробоя кристалла ZGP. При глубине съема материала более 30 мкм наблюдается значительное уменьшение порога оптического пробоя поверхности ZGP. А при глубине МРО полировки от 30 мкм до 17,8 мкм наоборот наблюдается увеличение LIDT по сравнению с кристаллом ZGP со стандартной полировкой. При этом в [4] МРО полировка глубиной 9,5 мкм не привела к увеличению оптической прочности кристалла по сравнению с классической полировкой.

Зависимость порога пробоя от глубины МРО полировки приведена на рис. 1.

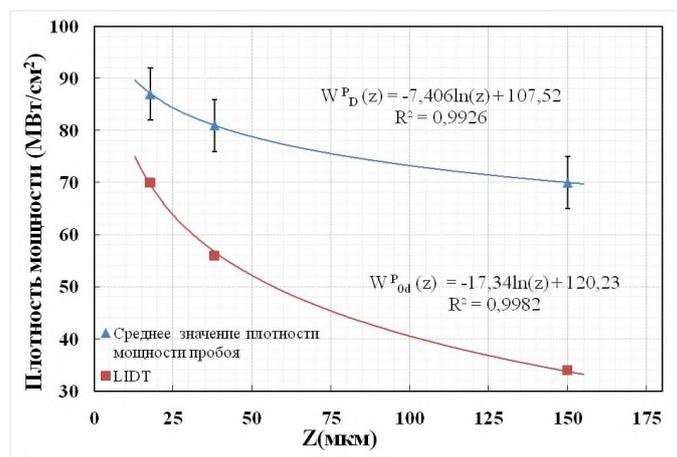


Рис. 1. Зависимость LIDT и среднего значения плотности мощности пробоя для ZGP с различной глубиной МРО полировки

Проведены экспериментальные исследования влияния параметров МРО полировки на оптическую прочность кристаллов ZGP. Показано, что глубина МРО полировки значительно влияет на LIDT кристалла ZGP. При МРО съема материала с поверхности кристалла более 30 мкм наблюдается значительное уменьшение оптической прочности поверхности ZGP, а для глубины МРО полировки 17,8 мкм, наоборот, наблюдается увеличение оптической прочности по сравнению с кристаллом ZGP со стандартной полировкой. При глубине съема материала 17,8 мкм параметры оптической прочности увеличиваются в 1,18 раза.

Показано, что зависимость порога оптического пробоя ZGP представляют собой гладкую монотонно убывающую логарифмическую функцию от глубины МРО полировки. Выдвинуто предположение, что полученная логарифмическая зависимость указывает на тепловую природу оптического пробоя и зависимость оптической прочности ZGP от концентрации поверхностных поглощающих дефектов. Полученные зависимости прогнозируют, что уменьшение глубины МРО полировки до значений в несколько мкм приведет к дальнейшему увеличению оптической прочности. Однако данные теоретические предположения требуют экспериментального подтверждения.

Литература

1. Yevtushenko A., Rozniakowska-Klosinska M. Laser-Induced Thermal Splitting in Homogeneous Body with Coating. Encyclopedia of Thermal Stresses. Springer, 2014.
2. Парфенов В. А. Лазерная микрообработка материалов. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 59 с.
3. Schunemann P.G., Zawilski K.T., Pomeranz L.A., Creeden D.J., Budni P.A. J. Opt. Soc. Am. B, 33, D 36. 2016.
4. Yudin N., Khudoley A., Zinoviev M., Podzvalov S., Slyunko E., Zhuravleva E., Kulesh M., Gorodkin G., Kumeysya P., Antipov O. The Influence of Angstrom-Scale Roughness on the Laser-Induced Damage Threshold of Single-Crystal ZnGeP₂ // Crystals. 2022. 12. 83 p.,