

ОПТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА ДЛЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ZGP*

✉ М. М. Зиновьев², В. С. Кузнецов¹, Н. Н. Юдин^{1,2},
Е. С. Слюнько¹, С. Н. Подзывалов¹, А. Ш. Габдрахманов¹

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

²Институт оптики атмосферы и океана СО РАН, Томск, Россия

✉ muxa9229@gmail.com

Создание оптических просветляющих покрытий является сложным и многоступенчатым процессом, включающим в себя множество параметров. Однако можно выделить два основополагающих — это метод нанесения оптических пленок на подложку и материалы, из которых это покрытие будет изготовлено. Это особенно актуально при изготовлении лазерной оптики, работающей в ИК-диапазоне, где необходимо достигать высоких значений порога лазерно-индуцированного пробоя (ПЛИП).

К наиболее распространенным методам напыления интерференционных покрытий с высоким значением ПЛИП сегодня можно отнести метод ионно-лучевого распыления (ИЛР) [1]. С помощью этого метода получают плотные пленки с высоким показателем преломления, которые также характеризуются высокими значениями ПЛИП [2–4]. Методом ИЛР в основном распыляют мишени оксидов (например, Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , Al_2O_3 и др.) [3] и чистые металлические мишени с подачей реактивного газа (кислород) в напылительную камеру. Описанные в работах [4, 5] подходы также позволяют с помощью ИЛР-метода распылять сульфидные и фторидные керамические мишени без их молекулярного разрушения.

В нашей предыдущей работе [5] мы показали возможность создания оптического просветляющего покрытия с высоким значением ПЛИП на подложке $ZnGeP_2$ (далее ZGP) с использованием таких материалов, как ZnS и YbF_3 . Продолжая экспериментальную работу над оптическими покрытиями и основываясь на физико-химических параметрах материалов, мы пришли к выводу, что наиболее подходящим материалом со схожими с ZnS характеристиками является селенид цинка ($ZnSe$). Поэтому было проведено исследование по отработке режимов распыления $ZnSe$ методом ИЛР, а также разработано оптическое просветляющее покрытие для монокристаллической подложки ZGP с высокой величиной ПЛИП на основе пары материалов $ZnSe/Al_2O_3$.

В нашей работе мы использовали вакуумно-напылительную машину *Aspira-200* производства IZOVAC, Беларусь. Напылительная машина оборудована кольцевым ионным источником (ускоритель с анодным слоем) с энергией ионов 400–1500 эВ.

Для разработки просветляющего покрытия, во-первых, мы исследовали монослой материалов, из которых в дальнейшем разрабатывали интерференционное покрытие. В качестве высокопреломляющего слоя был использован материал $ZnSe$, в качестве низкопреломляющего — Al_2O_3 . Параметры напыления исследуемых материалов были следующие: ускоряющее напряжение ионного источника 3500 В для Al_2O_3 и 2500 В для $ZnSe$; скорость напыления слоя составила 0,1 нм/с для Al_2O_3 и 0,08 нм/с для $ZnSe$; рабочее давление в ка-

* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-79-10193).

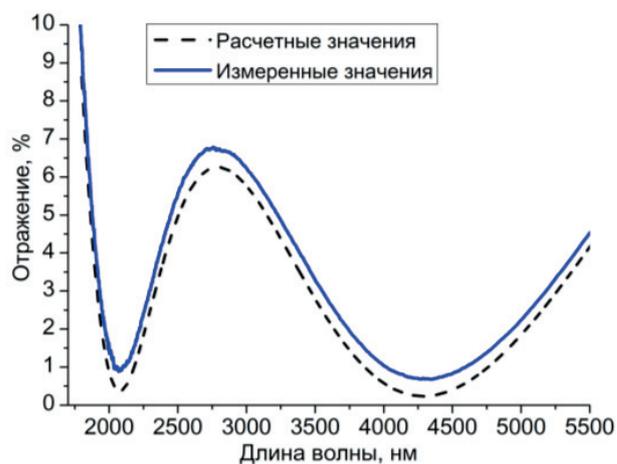
© М. М. Зиновьев, В. С. Кузнецов, Н. Н. Юдин, Е. С. Слюнько, С. Н. Подзывалов, А. Ш. Габдрахманов, 2024

мере варьировалось от $3,3 \cdot 10^{-2}$ до $5 \cdot 10^{-2}$ Па; остаточное давление в камере не превышало $5 \cdot 10^{-4}$.

Далее мы получали дисперсионные характеристики используемых материалов. Дисперсии показателей преломления, а также поглощение слоев было рассчитано в программном модуле OptiChar версии 14.57, программного обеспечения Optilayer.

С помощью полученных оптических характеристик материалов было рассчитано трехслойное AR coating для подложки ZGP по схеме sub | 0,94L 2,69H 5,23L | air, где L — низкопреломляющий слой, H — высокопреломляющий слой, sub — подложка ZGP, air — воздух. Рабочая полоса покрытия была выбрана для осуществления генерации ОРО на ZGP в диапазоне 3500–5000 нм, при накачке его излучением 2097 нм. Рассчитанное покрытие напылялось на монокристалл ZGP (см. рисунок) и контрольную пластину ZGP, одна из сторон которой была матовой.

В ходе работы было получено просветляющее покрытие для подложки монокристалла ZGP на основе высокопреломляющего слоя ZnSe и низкопреломляющего Al_2O_3 . Показано, что методом ИЛР можно успешно распылять материал селенид цинка (ZnSe) без деструкции соединения. Определен показатель преломления полученной пленки ZnSe в широком диапазоне длин волн. Установлено, что скорость распыления материала ZnSe выше скорости распыления материала ZnS в 2 раза при использовании метода ИЛР, что позволило сократить время напыления покрытия на величину на $\sim 30\%$. Был определен ПЛИП с нанесенными покрытиями на рабочие грани, который составил $3,5 \pm 0,1$ Дж/см² по плотности энергии и 101 ± 2 Вт/см² по плотности мощности.



Спектры отражения просветляющего покрытия ($ZnSe/Al_2O_3$): черным — расчетный; синим — измеренный

Литература

1. Böntgen T., Alig T., Balasa I. et al. Advances in IBS Coatings for space applications on the topics of curved surfaces and laser damage // Proc. SPIE 11180, International Conference on Space Optics — ICSO 2018. P. 1118045.
2. Liu H., Jensen L., Ma P., Ristau D. Stress compensated anti-reflection coating for high power laser deposited with IBS SiO_2 and ALD Al_2O_3 // Applied Surface Science. 2019. Vol. 476. P. 521–527.
3. Cheng X. J., Zhao Y., Qiang Y. et al. Comparison of laser-induced damage in Ta_2O_5 and Nb_2O_5 single-layer films and high // Chin. Opt. Lett. 2011. Vol. 9. P. 013102.
4. Ribeaud A., Pistner J. et. al. Infra-Red Multi-Layer Coatings Using YbF_3 and ZnS in an Ion Beam Sputtering System // Proceedings of the Optical Interference Coatings Conference (OIC). 2019.
5. Zinovev M. M., Yudin N. N., Kinyaevskiy I. O. et.al. Multispectral Anti-Reflection Coatings Based on YbF_3/ZnS Materials on $ZnGeP_2$ Substrate by the IBS Method for Mid-IR Laser Applications // Crystals. 2022. Vol. 12. P. 1408.