

## ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ СОСТАВА И МОРФОЛОГИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОНКИХ СЛОЕВ НА ИХ ПОРОГ ОПТИЧЕСКОГО ПРОБОЯ \*

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

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

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, Россия

✉ robert\_smith\_93@mail.ru

Порог лазерно-индуцированного пробоя (ПЛИП) диэлектрических интерференционных покрытий зависит от множества параметров и факторов, таких как наличие механических напряжений, морфологический состав и химическая стехиометрия покрытия [1–3].

В работе представлены результаты по исследованию влияния морфологии и состава тонких пленок, образующих структуру диэлектрических зеркал оптических резонаторов когерентных источников для лидаров. В программном обеспечении Optilayer проведено моделирование диэлектрических зеркал с использованием двух пар материалов  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  и  $\text{ZnS}/\text{YbF}_3$ .

Используемые материалы, толщины покрытий, количество слоев, а также средний коэффициент отражения в целевом диапазоне показаны в таблице.

### Характеристики рассчитанных диэлектрических зеркал

Рабочий диапазон покрытия ( $R \geq 99\%$ ), нм	Используемые материалы	Физическая толщина покрытия, нм	Оптическая толщина покрытия	Средний коэффициент отражения по диапазону, %	Количество слоев покрытия
970–1175	$\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$	2587	4649	99,8	18
	$\text{ZnS}/\text{YbF}_3$	2576	4648	99,7	18

В данной работе использован метод ионно-лучевого распыления (ИЛР) осаждения пленок в вакууме. Процесс нанесения оптических покрытий осуществлялся с использованием вакуумно-напылительного оборудования Aspira-200.

С помощью электронного и атомно-силового микроскопов проведено исследование морфологической структуры монослоев используемых материалов. Показано, что высокопреломляющие слои — как  $\text{ZnS}$ , так и  $\text{TiO}_2$  — при нанесении их на подложку методом ИЛР имеют бездефектную структуру и плотную упаковку частиц, что позволяет получать пленки с высоким показателем преломления.

Исследование низкопреломляющих материалов  $\text{SiO}_2$  и  $\text{YbF}_3$  показало, что в монослоях данных материалов присутствуют различного рода дефекты. Так, при распылении  $\text{SiO}_2$  на высоких ускоряющих напряжениях ионного источника (высокая энергия ионов) часть кремния не успевает прореагировать до состояния оксида, вызывая дефекты напыляемой пленки. Данные дефекты практически полностью устраняются путем подбора газовой смеси

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

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

аргон/кислород при распылении материала и посредством снижения ускоряющего напряжения источника.

Установлено, что при ионном распылении мишени  $\text{YbF}_3$  в напыляемой пленке появляется большое количество дефектов. Элементный анализ этих областей показывает там недостаток фтора с существенным преобладанием иттербия (соотношение 1 : 5). Это вызывает локальное отклонение от стехиометрии состава пленки, данные дефекты являются в том числе и поглощающими центрами. Однако снижение ускоряющего напряжения на 20–25 % не приводит к существенным изменениям количества дефектов. А дальнейшее снижение мощности источника ведет к очень низкой скорости распыления и, как следствие, невозможности наносить многослойные покрытия. Поэтому данная проблема требует дополнительных исследований.

Значения порога лазерно-индуцированного пробоя диэлектрических зеркал получены с использованием излучения Nd:YAG-лазера с длиной волны 1064 нм. Для определения порога оптического пробоя образцов использовалась методика R-on-1. Суть этой методики заключается в том, что каждая отдельная область кристалла облучается лазерным излучением при последовательном повышении интенсивности лазерного излучения до тех пор, пока не произойдет оптический пробой или не будет достигнуто заранее заданное значение плотности энергии.

Исследование ПЛИП ( $\lambda = 1064$  нм,  $\tau = 35$  нс,  $f = 1000$  Гц) диэлектрических зеркал на основе пар материалов  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  и  $\text{ZnS}/\text{YbF}_3$  на подложке, сделанной из кварца КИ, показало, что диэлектрическое зеркало на основе  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  способно выдержать оптическую нагрузку до 4 Дж/см<sup>2</sup> в то время как зеркало на основе  $\text{ZnS}/\text{YbF}_3$  выдерживает оптическую нагрузку до 3,2 Дж/см<sup>2</sup>.

### Литература

1. Ванякин А. В., Железнов В. И., Кулевский Л. А. и др. Интерференционная оптика для лазеров и параметрических генераторов среднего ИК-диапазона // Квантовая электроника. 1997. Т. 24 (2). С. 142–144.
2. Wang L., Jiang Y., Jiang C. et al. Effect of oxygen flow rate on microstructure properties of  $\text{SiO}_2$  thin films prepared by ion beam sputtering // Journal of Non-Crystalline Solids. 2018. Vol. 482. P. 203–207.
3. Langston P. F., Krous E., Schiltz D. et al. Point defects in  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  thin films by ion beam sputtering // Appl. Opt. 2014. Vol. 53. P. A276–A280.