

ционного и антифрикционного назначения, их применение в промышленности. – Л. : ЛДНТП, 1980. – С. 71–74.

5. Семенов, А. П. Металло-фторопластовые подшипники / А. П. Семенов, Ю. Э. Савинский. – М. : Машиностроение, 1976. – 192 с.

6. Полимеры в узлах трения машин и приборов / Под ред. А. В. Чичинадзе. – М. : машиностроение, 1988. – 328 с.

**А. Г. Бердиев**

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **Н. Н. Федосенко**, канд. техн. наук, доцент

## **ОПТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ**

Вакуумный синтез покрытий за счет распыления мишеней, изготовленных из оксидов металлов или кремния, является одним из основных методов формирования оптических покрытий. В настоящее время для просветления оптики широко используется электронно-лучевой метод формирования многослойных покрытий на основе оксидов [1, 2]. Задачей просветляющих покрытий является расширение рабочего спектрального диапазона и уменьшение отражения от поверхностей оптических элементов. Так при формировании покрытий, работающих в широком спектральном диапазоне, включающем ультрафиолетовую, видимую и ближнюю инфракрасную часть спектра, присутствуют некоторые трудности с подбором материала, который должен обладать необходимыми значениями показателя преломления, быть химически устойчивым, стойким к воздействию внешней атмосферы.

Цель данной работы исследование спектральных свойств многослойного покрытия на основе оксидов циркония и кремния для увеличения пропускания оптической подложки.

Многослойные покрытия  $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]_7$  формировались на вакуумной установке ВУ-1А, оснащенной источником электронно-лучевого испарения УЭЛИ-1 и встраиваемой системой спектрального (широкополосного) оптического контроля серии IRIS (ИРИС) компании ЭссентОптикс (Республика Беларусь). Осаждение покрытий осуществлялось при с максимальным ускоряющим напряжением 12 кВ и током эмиссии от 15 до 150 мА при остаточном давлении в камере  $6 \cdot 10^{-3}$  Па. В качестве исходных материалов в работе использовались стандарт-

ные промышленно-выпускаемые мишени на основе двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$ , окиси циркония  $\text{ZrO}_2$ . Количество чередующихся слоев составило 14. В качестве подложек использовали оптическое стекло марок К8 и КВ.

При исследовании оптических свойств покрытий использовали спектрофотометр Photon RT (Essent Optics) предназначенный для измерения спектральных характеристик отражения, пропускания и оптической плотности в поляризованном свете в диапазоне длин волн от 200 до 4000 нм.

На рисунке 1 приведены спектры пропускания поляризованного излучения при различном угле падения на поверхность чистых подложек

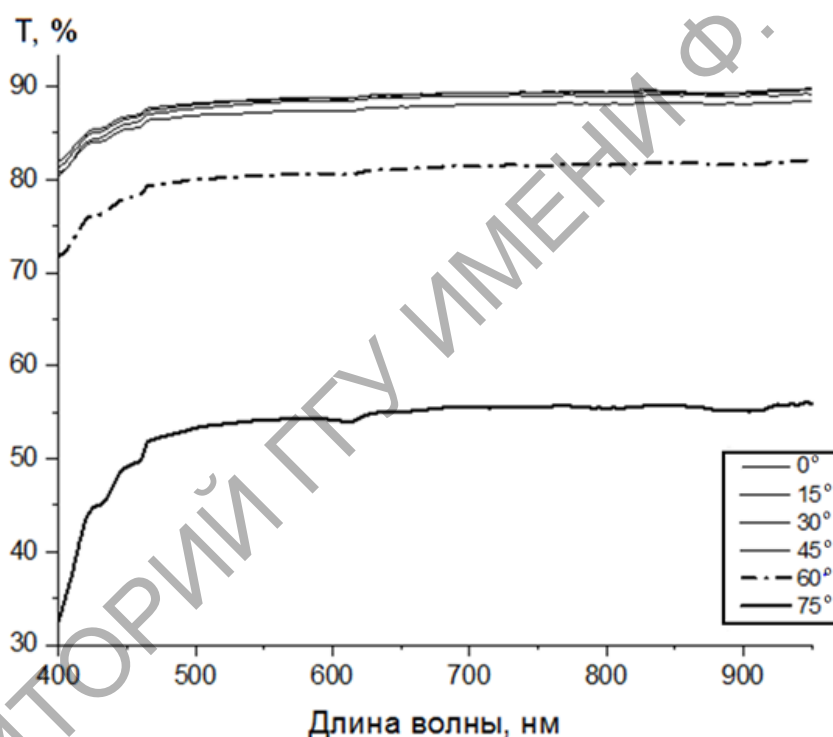


Рисунок 1 – Спектры пропускания чистой подложки на основе стекла К8 при различных углах падения поляризованного излучения

На рисунках 2, 3 приведены спектры пропускания неполяризованного и поляризованного излучения для 14-слойных покрытий  $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]_7$ , осажденных на различные подложки из стекла К8 и кварца.

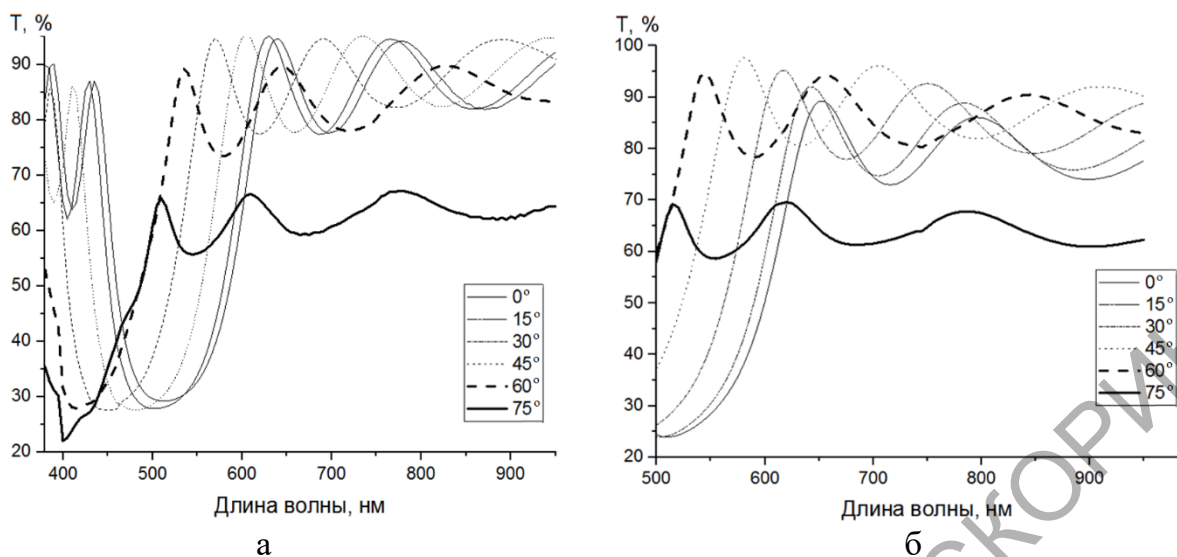


Рисунок 2 – Спектры пропускания: а – неполяризованного излучения и б – поляризованного излучения при различных углах падения излучения к поверхности многослойного покрытия на подложке из стекла К8

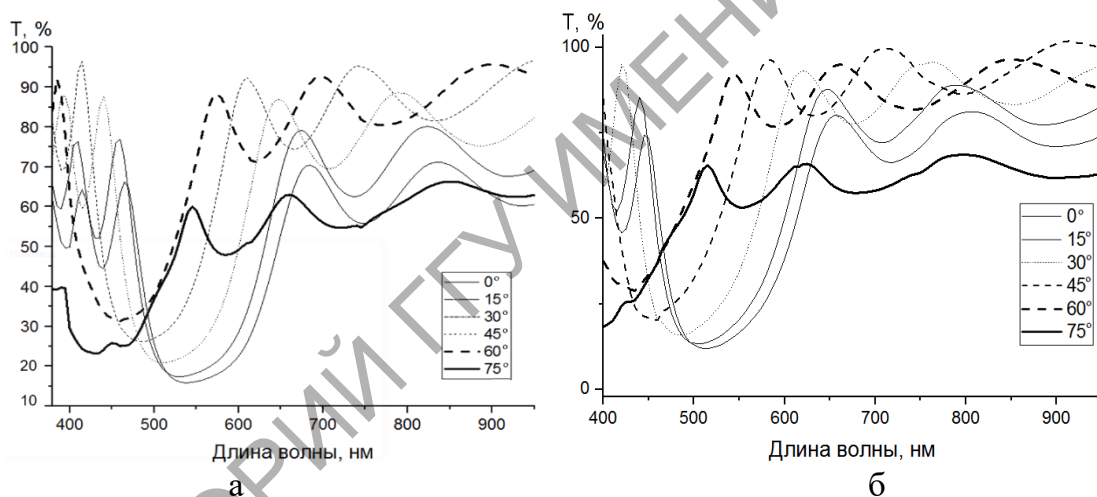


Рисунок 3 – Спектры пропускания: а – неполяризованного излучения и б – поляризованного излучения при различных углах падения к поверхности многослойных покрытий, осажденных на подложки из кварца

На основе анализа полученных спектров пропускания поляризованного излучения чистых подложек и подложек с нанесенным 14-слойным покрытием, установлено, что 14-слойное покрытие  $[\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2]_7$  обладает просветляющими свойствами – происходит увеличение пропускающей способности в среднем на 10 %. Также при работе в поляризованном свете происходит увеличение среднего коэффициента пропускания примерно на 5 % по сравнению с работой оптической системы в неполяризованного свете. На основании спек-

тров пропускания многослойных покрытий, нанесенных на подложки различного типа и изображенных на рисунках 2, 3, установлено, что максимальная степень пропускания наблюдается при угле падающего излучения  $60^\circ$ , при этом в области 500–550 нм она достигает значения 98 %, а при угле падения равном  $75^\circ$  максимумы пропускания смещаются в коротковолновую область и при длинах волн 480–550 нм коэффициент пропускания достигает значения 70 %.

### Литература

1. Изучение пленок оксида кремния и оксида гафния для создания просветляющих покрытий / Н. Р. Чарыкульева [и др.] // Молодежь в науке. – 2016 : сборник материалов Международной конференции молодых ученых; редкол. : В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2017. – С. 355–359.

2. ZrO<sub>2</sub> thin films and ZrO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> optical reflection filters deposited by sol–gel method / Q. Zhang [et al.] // Materials Letters. – 2000. – Vol. 45. – P. 311–314.

**А. В. Будько, А. Д. Вильчик, Т. О. Бакун**  
(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **А. С. Антонов**, канд. техн. наук, доцент

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СОХРАННОСТЬ ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

В современных условиях функционирования социальных систем наблюдается постоянно возрастающая роль грузоперевозок, в которых приоритетной задачей является обеспечение сохранности и безопасности транспортируемого объекта [1].

Все виды транспортировки различных грузов нуждаются в доказательстве неприкосновенности транспортируемых объектов. Таким доказательством могут стать средства пломбирования и индикации, обеспечивающие ограничение доступа к материальным ценностям или служащие свидетельством попытки вскрытия, нарушения условий транспортировки и хранения. Такие охранные устройства могут