

3. Новые материалы и технологии

(физика лазеров и лазерные технологии, ионно-лучевые и плазменные технологии, формирование структуры и свойства покрытий)

Председатели: Тарасенко Николай Владимирович, д. ф.-м. н.
Емельянов Виктор Андреевич, д. т. н.

Н.А. Алешкевич, Д.Л. Горбачев, Т.Н. Федосенко

**УО «Гомельский государственный университет
имени Ф. Скорины», Беларусь**

О ФОРМИРОВАНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ

Широкий круг задач во многих областях науки и техники решается в настоящее время с помощью оптических покрытий, выполняющих функции интерференционных фильтров. Функциональные и технические возможности оптических покрытий, используемых в оптическом приборостроении, постоянно совершенствуются и возрастают требования к их спектральным характеристикам [1]. Кроме того, оптические покрытия, выполняющие роль интерференционных фильтров, широко востребованы в медицинской технике. К примеру, в стоматологических установках должны использоваться светильники с определенными ограничениями по ультрафиолетовому излучению. Как показывает практика, весьма актуальной является задача нанесения покрытия на защитный экран светильника из оргстекла, для снижения воздействия УФ-излучения с целью соблюдения требований санитарных норм и правил.

В настоящее время достигнуты значительные успехи в разработке методов получения многослойных интерференционных покрытий по тонкопленочной технологии. Наряду с традиционными методами термического резистивного испарения в вакууме, широкое распространение получил метод электроннолучевого испарения, позволяющий получать пленки и покрытия на основе тугоплавких оксидов металлов и полупроводников. Процесс формирования

интерференционного покрытия принято условно разделять на два этапа. На первом этапе определяется конструкция покрытия (число и очередность слоев, их толщина и оптические постоянные), обеспечивающая необходимую оптическую характеристику покрытия. Второй этап заключается в технологической реализации т.е. нанесения покрытия [2].

В зависимости от конструкции интерференционного фильтра и спектрального диапазона выбирается материал покрытия, который должен быть прозрачен в определенной области спектра, оптически однороден, иметь оптимальный показатель преломления, обладать высокими адгезионными и механическими свойствами. Указанным требованиям удовлетворяют диэлектрические и полупроводниковые материалы. Среди диэлектриков чаще всего применимы оксиды. Они обладают высокой механической прочностью и химической стабильностью.

Получение однослойных покрытий осуществлялось на установке вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенной комплексом фотометрического контроля толщины СФКТ-751В. В качестве мишени использовались оксиды SiO_2 , Al_2O_3 и ZrO_2 , а в качестве подложки оргстекло и оптическое стекло марки К8. Параметры напыления покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры напыления покрытий

Состав покрытия	Длина волны λ , нм	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток накала, мА	Ток эмиссии, мА
SiO_2	570	6	180	80
Al_2O_3	570	6	220	95
ZrO_2	570	6	210	90

Были исследованы спектры пропускания однослойных покрытий SiO_2 , ZrO_2 и Al_2O_3 в ультрафиолетовой и видимой областях спектра с помощью УФ-ВИД спектрофотометра Cary 50, измерены показатели преломления на спектральном эллипсометре ESM-512, изучена топографии поверхности и морфологические особенности на атомно-силовом микроскопе «Solver P47 PRO».

Установлено, что пленки SiO_2 обладают высоким пропусканием (70-90 %) в области от 250 до 800 нм, показатель преломления $n = 1,46$ на длине волны $\lambda = 550$ нм. Пленки Al_2O_3 и ZrO_2 также

достаточно прозрачны в видимой и ультрафиолетовой области спектра, а их показатели преломления составляют порядка 1,6 и 2,05 соответственно. Поверхность покрытия SiO_2 имеет волнистую сглаженную структуру без явного наличия зёрен на поверхности.

Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что покрытие SiO_2 имеет редкие крупные зёрна размером около 130 нм и плотностью около 0,6 шт/мкм². При крупном увеличении заметна структура из плотно-объединённых наночастиц со средним размером у основания около 40 нм. Покрытие Al_2O_3 также имеет не однородную топографию поверхности и представляет собой разрозненные частицы различных размеров от 30 до 500 нм. Большие частицы явно видимые на изображении поверхности имеют средние размеры около 100 нм и плотность около 1,5 шт/мкм². При анализе покрытия с большим увеличением, видно, что оно состоит из частиц со средним размером около 25 нм. Анализ основной структуры покрытия ZrO_2 при большем увеличении показывает, что оно состоит из наночастиц со средним размером 18 нм и плотностью 600 шт/мкм². При этом пленки ZrO_2 обладают хорошими механическими и химическими свойствами.

Весьма существенная разница в показателях преломления покрытий ZrO_2 и SiO_2 , позволяет использовать их в качестве интерференционных слоёв при моделировании многослойных интерференционных покрытий для УФ области спектра. На основании теоретических данных [1] смоделирована многослойная система ZrO_2 - SiO_2 состоящая из 17 слоёв, образованная чередующимися диэлектрическими слоями с высоким и низким показателями преломления и толщинами, равными четверти длины волны. Такую систему можно представить в виде $(\text{B}_1\text{H})^m\text{B}_1$, где В – слой с высоким показателем преломления ZrO_2 ($n=2,05$); Н – слой с низким показателем преломления SiO_2 ($n=1,45$); m – количество слоёв.

Проведенные предварительные эксперименты и теоретические расчеты оптических параметров многослойной интерференционной системы с чередующимися слоями оксида циркония и оксида кремния толщиной $\lambda/4$, показали эффективность данных технологических решений при создании многослойного интерференционного фильтра для ультрафиолетовой области спектра. Дальнейшие исследования в данном направлении, а именно варьирование технологических параметров и способов и условий синтеза слоёв, позволят создавать

оптические УФ-фильтры с заданными оптическими и физико-механическими свойствами.

Литература

1. Гайнутдинов, И.С. Интерференционные покрытия для оптического приборостроения / И.С. Гайнутдинов, Е.А. Несмелов, И.Б. Хайбуллин. – Казань: «ФЭН», 2002. – 592 с.

2. Технология тонких пленок. Справочник / Под ред. Л.Майссела, Р. Глэнга. – М.: Сов. радио, 1977. – 662 с.

Н.А. Алешкевич, С.В Короткевич, В.В. Кравченко, С.О. Бобович

**УО «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Беларусь**

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГРАНИЧНОГО СМАЗОЧНОГО СЛОЯ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Теория строения и процессов формирования граничного смазочного слоя к настоящему времени развита слабо, в особенности это применимо к процессам экстремального трения. При нестационарном или переходном режимах работы энергетического оборудования (остановка и разгон турбины) безопасный режим эксплуатации турбины может нарушаться. Особую опасность при переходных режимах вызывают температурные изменения в узлах трения [1]. Весьма актуальной остается проблема разработка новых методов неразрушающего контроля узлов трения, позволяющих на ранней стадии обнаруживать отклонения их эксплуатационных параметров. Одним из таких методов является метод электрофизического зондирования.

Метод электрофизического зондирования состояния граничного смазочного слоя (ГСС), позволяет диагностировать наступление аварийного режима эксплуатации турбины на ранней стадии до наступления задира, схватывания и выхода ее строя. Схема разработанного метода приведена на рисунке 1.

Метод заключается в регистрации величины туннельного тока протекающего между неподвижным электродами через