

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Кафедра инженерной психологии и эргономики

УДК 621.793.1:331.45

Каученко  
Людмила Николаевна

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНОГО  
НАНЕСЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ  
ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

АВТОРЕФЕРАТ  
на соискание академической степени  
магистра техники и технологии

1-59 81 01 – Управление безопасностью производственных процессов

Магистрант Л.Н. Каученко

Научный руководитель  
А.М. Лазаренков, доктор  
технических наук, профессор

Заведующий кафедрой ИПиЭ  
К.Д. Яшин, кандидат  
технических наук, доцент

Минск 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Внедрение передовых оптических приборов и оптических методов исследований в различные области науки и техники приводит к необходимости создания многослойных диэлектрических и металлодиэлектрических систем не только с повышенными требованиями к их свойствам, но и к необходимости их сочетания по механическим, оптическим и другим функциональным параметрам.

Поэтому разумно рассмотреть отдельные типы покрытий: просветляющие (антиотражающие), зеркальные и фильтрующие. Задачей, связанной со свойствами оптических материалов, является осаждение покрытий на нестойких стеклах, кристаллах и полимерах. Также критичны химические свойства и физико-механические характеристики формируемых функциональных покрытий, обусловленные как большим рядом материалов подложек и покрытий, так и спецификой их применения.

Основная сложность, которая возникает при изготовлении перечисленных выше покрытий, заключается в нестабильности показателей преломления слоёв, входящих в состав диэлектрических и металлодиэлектрических систем, а также в недостаточной точности контроля толщины слоёв в процессе осаждения.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы** заключается в необходимости формирования сравнительно тонких (до 100 нм) высококачественных слоев  $\text{TiO}_2$  и  $\text{SiO}_2$  для отрезающего фильтра в промышленно приемлемый временной интервал – до 87 минут.

**Целью работы** является разработка технологических приемов и методик формирования многослойного покрытия и контроля их характеристик, с предварительным изучением существующих технологий и методов получения тонкопленочных покрытий для многослойных оптических покрытий.

## СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Первая глава** диссертации посвящена аналитическому исследованию методов формирования оптических покрытий. Наибольшее распространение получили такие методы, как электронно-лучевое испарение, электронно-лучевое испарение с ассистированием, магнетронное распыление и ионно-лучевой метод. Приведенные методы внедрены в производство и имеют свои достоинства и недостатки. Особый практический интерес представляют собой методы электронно-лучевого испарения с ассистированием и ионно-лучевое распыление, отличающиеся от других высококачественными и воспроизводимыми тонкопленочными слоями.

Достоинствами электронно-лучевого метода являются:

- возможность нанесения пленок металлов (в том числе тугоплавких), сплавов, полупроводниковых соединений и диэлектрических пленок;
- высокая скорость испарения веществ и возможность регулирования ее в широких пределах за счет изменения подводимой к испарителю мощности;
- чистота процесса, позволяющая при наличии высокого (а при необходимости сверхвысокого) вакуума получать покрытия практически свободные от загрязнений атмосферы.

Распыление является низкотемпературным процессом и может применяться для получения пленок металлов, сплавов, полупроводников и полупроводниковых соединений, а при использовании источника питания переменного сигнала, и (или) при добавлении реактивного газа появляется возможность получать диэлектрические пленки, то есть почти все материалы, применяемые в микроэлектронной технике и других областях хозяйства.

Исходя из выше приведенного представляет интерес отработка технологии нанесения покрытия отрезающего фильтра методом электронно-лучевого испарения с ионным ассистированием.

**Вторая глава** диссертации посвящена экспериментальному исследованию параметров оптических покрытий, полученных методом испарения. Для проведения экспериментов по напылению оптических просветляющих покрытий была использована установка вакуумного напыления «Ортус-700» производства ООО «Изовак», система оптического контроля «InvisioM» производства ООО «Изовак».

Оптические просветляющие покрытия наносились на подложки из стекла Asashi glass ГОСТ 3514-94 0,7 мм размером 5x5 мм. Применялся метод осаждения пленок – ионно-ассистированное электронно-лучевое испарение, реализованное на вакуумной установке «Ортус-700». В качестве рабочего газа использовался чистый кислород. Толщина наносимых пленок составляла 225

нм. Контроль толщины производился с помощью системы оптического контроля «InvisioM». Расстояние мишень-подложка во время напыления не изменялось и составляло 695 мм в установке «Ортус-700». Режимы напыления изменялись в зависимости от исследуемых параметров, влияющих на свойства пленок.

В экспериментах по получению просветляющих покрытий используются стеклянные подложки Asashi glass ГОСТ 3514-94 толщиной 0,7 мм. Перед загрузкой в вакуумную камеру, для удаления щелочных и жировых загрязнений, а также пыли, подложки методом ручной протирки предварительно очищаются растворами ацетона и изопропилового спирта.

Для удаления поверхностного окисла и активации свободных связей поверхностных атомов в вакуумной камере подложки подвергаются ионно-лучевой очистке, при режиме работы ионного источника – 150 В, токе анода – 2 А, 15 см<sup>3</sup> рабочего газа O<sub>2</sub>. Время процесса очистки составляет 2 минуты.

Для получения пленкообразующего материала Ti<sub>x</sub>O<sub>y</sub> в тигли загружаются таблетки TiO, затем при разряженном газе в камере до 6·10<sup>-2</sup> Па их сплавляют в следующем режиме работы электронно-лучевой пушки: ток эмиссии 67,5 мА, 40 см<sup>3</sup> рабочего газа O<sub>2</sub>. Для получения пленок TiO<sub>2</sub> с минимальным поглощением в видимой области спектра (400-700 нм) и неизменным показателем преломления по толщине покрытия использовались следующие параметры: электронно-лучевой пушки – ток эмиссии для нагрева 60 мА, для испарения – 120 мА, 20 см<sup>3</sup> газа O<sub>2</sub>; ионного источника ассистирования – ток анода 4 А, потенциал анода 200 В, ток накала термокомпенсатора 18 А, газ – O<sub>2</sub>. Скорость напыления – 0,2 нм/сек.

**Третья глава** диссертации посвящена обеспечению безопасности процессов тонкопленочного производства. Исследованы вредные факторы, оказывающие влияние на организм человека и разработаны меры безопасности при работе с установками. Также исследованы виды чистых комнат, их особенности на производстве, рассмотрены вопросы эргономичности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации проведены аналитические исследования методов формирования оптических покрытий. Исходя из достоинств и недостатков изученных методов, для проведения экспериментальных исследований был выбран метод электронно-лучевого испарения с ионным ассистированием.

Внесены предложения по обеспечению безопасной работы оператора вакуумной установки при работе на вакуумных установках, эргономичности организации рабочего места, а также рассмотрены особенности работы в чистых комнатах.

Материалы магистерской диссертации были доложены на 53-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР 2017.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Список публикаций соискателя

[1-А] Каученко, Л.Н. Обеспечение безопасности процессов вакуумного нанесения наноразмерных многослойных оптических покрытий / Л.Н. Каученко // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: Тезисы докл. к научной конференции. – Минск, 2017. – С. 54–56.

Библиотека БГУИР