

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Оптимизация технологии нанесения тонких плёнок материалов с
высоким показателем преломления методом электронно-лучевого
испарения в вакууме**

АВТОРЕФЕРАТ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

Студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета nano- и биомедицинских технологий

Лебедева Алексея Дмитриевича

Научный руководитель

старший преподаватель

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Соколов С.Н.

фамилия, инициалы

Консультант

канд. техн. наук

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Козырев А.А.

фамилия, инициалы

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Михайлов А.И.

фамилия, инициалы

Введение

Квантоворазмерные наноструктуры в данный момент являются одним из самых наиболее перспективных объектов нанотехнологии, предназначения которых являются усиления оптических, магнитных и изоляционных эффектов в тонких пленках, а также данные структуры используют для повышения автоэмиссионных характеристик поверхностей с нанорельефом.

Повышенный интерес исследователей к наноструктурам вызван проявлением у них так называемых «квантовых размерных эффектов» и связан с необычными физическими и химическими свойствами.

Одной из главных причин изменения физических и химических свойств малых частиц по мере уменьшения их размеров является возрастание в них относительной доли «поверхностных» атомов. С энергетической точки зрения уменьшение размеров частицы приводит к возрастанию доли поверхностной энергии в ее химическом потенциале.

Существует большое количество методов и процессов получения тонких плёнок. Чаще всего пленки получают методами осаждения.

В качестве материала с высоким показателем преломления был выбран оксид титана (IV), поскольку он имеет наибольший показатель преломления и является наиболее простым в исследовании.

Цель работы: Получение и оптимизация процесса плёнок оксида титана (IV) для достижения минимального коэффициента экстинкции и максимального показателя преломления.

Задачи поставленные для выполнения цели:

1. Поиск и изучение литературы в сфере создания тонких пленок материалов с высоким показателем преломления и способам их напыления различными методами осаждения в вакууме.
2. Поиск и изучение литературы по теме оптических и физических свойств оксида титана (II) и оксида титана (IV), способам их напыления, оптическим и физическим свойствам данных материалов.
3. Проведение опытов по напылению оксида титана (II) путем электронно-лучевого осаждения в вакууме при различных параметрах

ускоряющего напряжения источника ионов с фиксированным давлением в камере.

4. Проведение опытов по напылению оксида титана (II) путем электронно-лучевого осаждения в вакууме при различных параметрах давления в камере при фиксированном значении ускоряющего напряжения источника ионов.
5. Исследовать основные оптические характеристики полученных пленок и выработать наиболее оптимальный режим создания пленок оксида титана (IV) путем электронно-лучевого осаждения в вакууме на электронно-лучевом распылителе УВН РЭ.Э-60-2

Актуальность и новизна темы

В проделанной работе был проведен ряд опытов по электронно-лучевому осаждению пленок оксида титана (IV) в вакууме для дальнейшего исследования ее оптических и характеристик с целью нахождения наиболее оптимального режима напыления тонких пленок путем электронно-лучевого осаждения в вакууме на электронно-лучевом распылителе УВН РЭ.Э-60-2.

В первой главе ВКР

Была изучена литература по исследованию оптических характеристик оксида титана (IV) и оксида титана (II), свойствам его напыления и подробном рассмотрении, и сравнении его оптических характеристик в состоянии вакуума и в состоянии выдержки в атмосфере на стеклянной подложке в течении суток.

Бала изучена литература по различным методам вакуумного напыления, выявлению преимуществ и недостатков различных методов путем анализа литературы.

Была изучена литература по теме характеристик процессов напыления тонких пленок путем электронно-лучевого осаждения в вакууме с ионным ассистированием. Приведены основные преимущества данного метода и его недостатки. Рассмотрены основные составляющие приборы, используемые при электронно-лучевом осаждении пленок в вакууме.

Во второй главе ВКР

Были приведены основные устройства, станки, приборы которые использовались для проведения опытов по электронно-лучевому осаждению в вакууме тонких пленок оксида титана (IV), исследованию его оптических характеристик и изменению параметров электронно-лучевого осаждения в вакууме данных пленок.

Приведены основные характеристики, схема и принцип работы спектрофотометра Photon RT, который был использован для изучения оптических характеристик полученных пленок оксида титана (IV) на оптическом стекле К8 после выдержки их в атмосфере в течение суток.

Приведены основные характеристики низкоэнергетического источника ионного ассистирования «Стрелок». Описаны устройство и принцип работа источника ионного ассистирования «Стрелок» и представлена спецификация работы данного источника ионов.

Приведены основные характеристики электронно-лучевого распылителя УВН РЭ.Э-60-2. Показаны его составляющие, приведена схема камеры для электронно-лучевого осаждения тонких пленок на электронно-лучевом распылителе УВН РЭ.Э-60-2.

В третьей главе ВКР

Был произведен ряд опытов, касаемых нахождения оптимальных оптических характеристик тонких пленок оксида титана (IV) полученных путем электронно-лучевого осаждения в вакууме на электронно-лучевом распылителе УВН РЭ.Э-60-2.

В первую очередь были получены оптические характеристики стекла К8 при помощи спектрофотометра Photon RT в диапазоне длин волн от 380 нм до 980 нм. Затем, при помощи формул Френеля был рассчитан показатель преломления оптического стекла К8. При помощи формул Френеля можно рассчитать только показатель преломления только для однослойной структуры, поэтому для нахождения показателя преломления и коэффициента экстинкции пленки оксида титана (IV), находящейся на оптическом стекле был использован матричный метод Абеле, который

позволяет произвести расчет показателя преломления и коэффициента экстинкции путем сравнения теоретических и практических данных, полученных со спектрофотометра Photon RT.

Для оптимизации процесса напыления тонкой пленки оксида титана (IV) путем электронно-лучевого осаждения в вакууме был проведен ряд опытов при фиксированном давлении в камере и, путем изменения ускоряющего напряжения источника ионов в диапазоне от 70 В до 120 В, был подобран наиболее подходящий режим работы ионного источника. Оптимальное ускоряющее напряжение источника ионов для электронно-лучевого распылителя УВН РЭ.Э-60-2 является значение в 120 В.

Так же для дальнейшей оптимизации процесса напыления тонкой пленки оксида титана (IV) путем электронно-лучевого осаждения в вакууме был проведен ряд опытов при фиксированном напряжении, равном 120 В, и, путем изменения давления в камере в диапазоне от $3.1 \cdot 10^{-2}$ Па до $1.7 \cdot 10^{-2}$ Па был подобран оптимальный режим напыления тонкой пленки оксида титана (IV) путем электронно-лучевого осаждения в вакууме

В качестве критериев по выбору качества пленок сравнивались их показатели преломления, коэффициенты экстинкции и смещение оптической кривой на определенную длину волны. Значения сравнивались в двух состояниях:

1. In situ состояние соответствует пленке, оптические характеристики которой были сняты в вакуумной камере электронно-лучевого распылителя УВН РЭ.Э-60-2.
2. Ex situ состояние соответствует пленке, оптические характеристики которой были сняты спектрофотометром Photon RT после ее выдержки в атмосфере в течении суток.

Данные сравнения показателей преломления, коэффициентов экстинкций и смещений спектральных кривых представлены в таблице 1 и в таблице 2.

Таблица 1 - Режимы нанесения плёнки и её измеренные оптические характеристики при фиксированном давлении в $2,1 \cdot 10^{-2}$ Па

№ свид.	Ток пушки, мА	Напряжение на аноде, В	n in situ	k in situ	n ex situ	k ex situ	Δn	Δk	$\Delta \lambda$
1	120	120	2,33	0,004	2,38	0,002	0,05	0,002	4
2	150	110	2,31	0,0045	2,37	0,002	0,06	0,0025	8
3	117-125	100	2,32	0,018	2,37	0,0056	0,05	0,0124	21
4	150	90	2,55	0,053	2,37	0,016	0,18	0,037	41
5	145	80	2,58	0,06	2,37	0,014	0,21	0,046	45
6	140	70	2,65	0,068	2,37	0,014	0,28	0,054	53

Таблица 2 - Режимы нанесения плёнки и её измеренные оптические характеристики при фиксированном значении напряжения на аноде.

№ свид.	Ток пушки, мА	Давление камеры, Па	n in situ	k in situ	n ex situ	k ex situ	Δn	Δk	$\Delta \lambda$
9	107-117	$3.1 \cdot 10^{-2}$	2,19	0,02	2,38	0,0013	0,19	0,0187	99
10	107-115-120	$2.9 \cdot 10^{-2}$	2,17	0,019	2,36	0,0016	0,19	0,0174	96
11	107-145-120	$2.7 \cdot 10^{-2}$	2,15	0,02	2,35	0,0016	0,2	0,0184	110
12	105-115	$2.5 \cdot 10^{-2}$	2,15	0,018	2,34	0,0018	0,19	0,0162	115
13	140-137	$2.3 \cdot 10^{-2}$	2,21	0,02	2,37	0,0043	0,16	0,0157	69
14	140-147	$2.1 \cdot 10^{-2}$	2,25	0,02	2,41	0,0013	0,16	0,0187	65
15	160-155-152	$1.9 \cdot 10^{-2}$	2,25	0,021	2,43	0,0011	0,18	0,0199	43
16	150-152	$1.7 \cdot 10^{-2}$	2,27	0,019	2,41	0,0024	0,14	0,0166	50

Заключение

В результате проведенной работы опытным путем был получен оптимальный режим работы источника ионного ассистирования. Данный режим позволил получить пленку диоксида титана на подложке из оптического стекла К8, изменяющую свои оптические характеристики после выдержки на атмосфере в течении суток в пределах 0,18 для n и 0,019 для k.

Пленка оксида титана (IV) полученная при ускоряющем напряжении источника ионов в 120 В и при давлении в камере в $1.9 \cdot 10^{-2}$ Па имеет наибольший показатель преломления и наименьший коэффициент экстинкции по сравнению с пленками, полученными путем электронно-лучевого осаждения в вакууме, при других параметрах ускоряющего напряжения источника ионов и давления в камере.

Её показатель преломления составил при этом $n=2.43$, а значение смещения спектральных кривых равняется $\Delta \lambda=43$ нм, что свидетельствует о высоком качестве полученного покрытия и совершенстве его структуры.

Кроме этого, коэффициент экстинкции составил $k=0.0011$, что делает возможным применение подобранного режима для напыления многослойных интерференционных покрытий для лазерной оптики, применяемой при высоких мощностях.