

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе

для студентов направления 200600.62 – Фотоника и  
оптоинформатика

2012

**Орликов Леонид Николаевич.**

Основы технологии оптических материалов и изделий: Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе для студентов направления 200600.62 – Фотоника и оптоинформатика / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 36 с.

Самостоятельная работа направлена на углубление знаний дисциплины и предполагает обобщение изучаемых тем, а темы для самостоятельной проработки обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи, возникающие при внедрении передовых технологий в производстве. Отдельные фрагменты тем могут составлять предмет научных исследований.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по дисциплине «Основы технологии оптических материалов и изделий».

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе

для студентов направления 200600.62 – Фотоника и оптоинформатика

Разработчик  
д-р техн. наук, проф.каф.ЭП  
\_\_\_\_\_ Л.Н.Орликов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г

## Содержание

Введение.....	6
Раздел 1 Физико-химические основы технологических процессов .....	7
1.1 Содержание раздела.....	7
1.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
1.3 Вопросы для самопроверки .....	7
1.3.1 Технологичность в конструировании.....	7
1.3.2 Технология подготовки поверхности (очистка).....	8
1.3.3 Технология травления материалов .....	8
1.3.4 Термические процессы.....	9
Раздел 2 Физические основы вакуумной, ионно-плазменной, электронно-лучевой и лазерной технологии.....	9
2.1 Содержание раздела.....	9
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	10
2.3 Вопросы для самопроверки .....	10
2.3.1 Вакуумная технология .....	10
2.3.2 Металло-керамические спаи и вводы в вакуум.....	11
2.3.3 Электронно-лучевая технология.....	12
2.3.4 Ионно-лучевая технология .....	12
2.3.5 Модификация поверхности .....	13
2.3.6 Плазменная технология .....	14
2.3.7 Порошковая технология .....	15
2.3.8 Защитные технологические покрытия .....	16
2.3.9 Лазерная технология .....	16
Раздел 3 Основы технологии изготовления оптических материалов и изделий .....	17
3.1 Содержание раздела.....	17
3.2 Методические указания по изучению раздела.....	17
3.3 Вопросы для самопроверки .....	17
3.3.1 Пленочная технология .....	17
3.3.2 Эпитаксия .....	19
3.3.3 Литография.....	19
Раздел 4 Основы автоматизации процессов производства оптических материалов и изделий .....	20
4.1 Содержание раздела.....	20
4.2 Методические указания по изучению раздела.....	20
4.3 Вопросы для самопроверки .....	21
4.3.1 Автоматизация технологических процессов .....	21
4.3.2 Числовое программное управление (ЧПУ).....	22
Раздел 5 Эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования. Сертификация и инструкции по эксплуатации.....	23
5.1 Содержание раздела.....	23
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	23
5.3 Вопросы для самопроверки .....	23

5.3.1	Технология обслуживания вакуумных установок .....	23
5.3.2	Проектирование новых производств .....	24
5.3.3	Монтаж технологических электроустановок .....	24
6	Лабораторные работы .....	26
7	Практические занятия .....	29
8	Темы для самостоятельного изучения .....	29
9	Индивидуальное задание .....	30
10	Тестовые вопросы .....	30
10.1	Вакуумная технология .....	30
10.2	Подготовка изделий к технологическим операциям .....	31
10.3	Пленочная технология, эпитаксия .....	32
	Заключение .....	33
	Рекомендуемая литература .....	34

## Введение

*Целью преподавания дисциплины* “Основы технологии оптических материалов и изделий” является необходимостью овладения научными основами проектирования и управления технологическими процессами и оборудованием. Изучение дисциплины также определяется тем, что в последующих курсах проектирования различных типов приборов фотоники, в частности, лазерных и оптоэлектронных приборов, будущий специалист приобретает навыки рационального подхода к расчету и конструированию ЭП с учетом требований того или иного технологического процесса изготовления деталей, узлов и приборов.

В *задачи изучения дисциплины* входят изучение не только традиционных технологических процессов, но и основ проектирования технологической подготовки производства с применением ЭВМ, новейших электрофизических и электрохимических методов обработки материалов, получения высокого вакуума, термических и диффузионных процессов, построения алгоритмов, формализованных и математических моделей процессов и их автоматизации.

В *результате изучения дисциплины* студенты должны приобрести навыки проектирования и эксплуатации технологического оборудования, умение проводить научные исследования и эксперименты, обрабатывать и анализировать полученные результаты

Дисциплина «Основы технологии оптических материалов и изделий» является факультативной дисциплиной (ФТД.1) образовательной программы специалиста.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как: “Физика”, “Информатика”, “Химия”.

Изучение дисциплины «Основы технологии оптических материалов и изделий» представляет собой базу для таких дисциплин как: «Технология приборов оптической электроники и фотоники», «Приборы квантовой электроники и фотоники», «Твердотельные приборы и устройства»

*Требования к результатам освоения дисциплины.* Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
- способностью разрабатывать инструкции по эксплуатации используемого технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала.

В результате изучения дисциплины студент должен

- *знать*: физические принципы работы приборов электроники и нанoeлектроники; основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических материалов;
- *уметь*: ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и нанoeлектроники;

разрабатывать принципиальные схемы последовательностей технологических операций; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций; использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;

– *владеть* основными навыками анализа достоинств и недостатков известных технологий формирования оптических материалов на элементах электроники и наноэлектроники.

## **Раздел 1 Физико-химические основы технологических процессов**

### **1.1 Содержание раздела**

Типовой технологический процесс. Технологичность. Кинетические, диффузионные, поверхностные явления. Газофазные реакции Термические процессы. Технология подготовки поверхностей (очистка). Травление.

### **1.2 Методические указания по изучению раздела**

При изучении раздела «Физико-химические основы технологических процессов» следует обратить внимание на построение последовательностей изготовления изделий с учетом аналогов, стандартов, допусков и квалитетов. Обращается внимание на методы очистки изделий от внутренних газов и поверхностных загрязнений.

### **1.3 Вопросы для самопроверки**

#### **1.3.1 Технологичность в конструировании**

- 1 Перечислите общие требования к технологичности.
- 2 Назовите показатели технологичности конструкции.
- 3 Разъясните методы анализа проектов и документов на технологичность.
- 4 Охарактеризуйте показатели и оценки технологичности деталей.
- 5 Перечислите требования к технологичности сборки.
- 6 Объясните систему квалитетов, допусков и посадок при сборке изделий.
- 7 Ремонтная технологичность изделий.
- 8 Объясните порядок изготовления деталей по месту.
- 9 Поясните особенности конструирования деталей из пластмасс.
- 10 Приведите приемы повышения технологичности при выполнении резьбовых, глухих и пролетных отверстий.
- 11 Приведите алгоритм расчета вакуумных камер на прочность.
- 12 Нарисуйте эскиз вращающегося соединения со смещением осей.
- 13 Приведите эскиз подвижного ввода в вакуум.
- 14 Нарисуйте эскиз подвижного соединения вакуумопроводов.
- 15 Приведите фрагмент таблицы фланцевых соединений.

16 Обоснуйте особенности допусков на конструирование изделий из пластмасс.

### 1.3.2 Технология подготовки поверхности (очистка)

- 1 Каковы источники загрязнений в процессе изготовления приборов?
- 2 Как проводится очистка окислительно-восстановительным отжигом?
- 3 В чем преимущества вакуумного отжига?
- 4 Каковы методы обезжиривания и оборудование для его реализации?
- 5 Как провести высококачественную очистку стекла и керамики?
- 6 Каковы достоинства очистки газовым травлением?
- 7 Как проводится очистка изделий с помощью лазеров?
- 8 Как выглядит общая схема очистки деталей приборов?
- 9 Как проводится магнитообразивная очистка деталей?
- 10 В чем особенности очистки пластмасс перед очисткой других материалов?
- 11 Как реализуется технология ионной очистки изделий, ее достоинства, недостатки?
- 12 Как проводится очистка в высокочастотном разряде?
- 13 Как проводится плазмохимическая очистка материалов?
- 14 В чем состоят особенности очистки кристаллов?
- 15 Каковы способы консервации очищенных изделий?
- 16 Как проводится контроль качества очистки?
- 17 Каков механизм очистки с помощью деионизованной воды?
- 18 Как проводится очистка воздуха?
- 19 Какие достоинства и недостатки мокрых методов очистки?
- 20 Какие преимущества механической очистки материалов резцами?
- 21 Какие основные правила техники безопасности при очистке?
- 22 Как проводится очистка полимерными пленками?
- 23 Какие особенности очистки в тлеющем разряде?
- 24 Какие материалы применяются для мокрых способов очистки?
- 25 Как проводится очистка деталей под конкретные операции?
- 26 Как реализуется очистка методом редиффузии?
- 27 Очистка с использованием ультразвука

### 1.3.3 Технология травления материалов

- 1 Каковы достоинства и недостатки химического травления?
- 2 Как реализуется вакуумно-плазменное, ионно-плазменное, ионно-лучевое, плазменное, радикальное травление материалов?
- 3 Каковы особенности изотропного и анизотропного травления?

- 4 Что такое селективность процесса травления?
- 5 Каковы механизмы процесса ионного травления?
- 6 В чем преимущества травления с помощью автономных ионных источников?
- 7 Какое оборудование применяется для плазмохимического травления?
- 8 Как оценить начало процесса травления ионным пучком?
- 9 Как реализуется процесс газового травления материалов?
- 10 Каковы достоинства и недостатки электрохимического травления?
- 11 Какова последовательность технологических операций при травлении материалов ионными пучками?
- 12 Как реализуется процесс самопроизвольного стимулированного травления?

### 1.3.4 Термические процессы

- 1 Какие типы отжигов Вы знаете, и как они реализуются?
- 2 Зачем проводится отжиг пленок?
- 3 В каких случаях производится пиролиз?
- 4 В чем заключается смысл вероятности диффузии?
- 5 Как записываются первый и второй законы Фика?
- 6 В чем отличия вакансионного, междуузельного и эстафетного механизмов диффузии?
- 7 Как проводится легирование методом диффузии?
- 8 Зачем проводится двухстадийная диффузия?
- 9 В чем состоит особенность диффузии из пленок?
- 10 Каковы дефекты диффузии?
- 11 Как проводится контроль диффузионных слоев?
- 12 Какие марки термопар Вы знаете?
- 13 Как градуируются неизвестные термопары?
- 14 Как строится программное обеспечение процесса диффузии?
- 15 Как стимулируется диффузия?
- 16 Какова особенность скоростных режимов нагрева и остывания при диффузии?
- 17 Сравните модели поверхностной и объемной диффузии (модели типа: перекасти поле, развертываемый ковер, тепловой скачок).

## Раздел 2 Физические основы вакуумной, ионно-плазменной, электронно-лучевой и лазерной технологии

### 2.1 Содержание раздела

Вакуумная технология. Технология получения масляного и безмасляного вакуума. Расчет вакуумных систем. Измерение вакуума.

Течеискание. Масс-спектрометрия. Металлокерамические спаи и вводы в вакуум. Электронно-лучевая и ионно-плазменная технологии. Модификация поверхности. Порошковая технология. Защитные технологические покрытия. Лазерная технология

## 2.2 Методические указания по изучению раздела

В разделе «Физические основы вакуумной, ионно-плазменной, электронно-лучевой и лазерной технологии» следует обратить внимание на расчет вакуумных систем, диапазоны работы оборудования, алгоритм включения и выключения вакуумных установок. Следует обратить внимание, на расчет мощности электронных источников исходя из технологических применений электронного луча. Важным являются изучение материалов и методов изготовления элементов приборов: катодов, анодов, вводов, оболочек. Следует знать типы керамик и изготовление металлокерамических спаев.

## 2.3 Вопросы для самопроверки

### 2.3.1. Вакуумная технология

- 1 Назовите критерии оценки режимов течения газа.
- 2 Переведите нестандартные единицы потока в стандартные.
- 3 Как производится сложение проводимости вакуумпроводов?
- 4 Как меняется проводимость отверстий от рода газа и температуры?
- 5 Запишите основное уравнение вакуумной техники.
- 6 Запишите алгоритм расчета времени откачки.
- 7 Приведите соотношения для расчета газовыделения.
- 8 Назовите типы вакуумных систем.
- 9 Приведите алгоритм расчета вакуумной системы .
- 10 Опишите принципы работы вакуумных насосов.
- 11 Объясните причины предельных возможностей откачных средств по давлению.
- 12 Перечислите марки масел для вакуум-насосов и требования к ним.
- 13 Какое назначение газового балласта?
- 14 Приведите алгоритм включения и выключения вакуумных установок.
- 15 Охарактеризуйте многопластинчатые, водокольцевые и двух роторные насосы
- 16 Приведите схемы безмасляных форвакуумных насосов
- 17 Назовите специальные механические насосы.
- 18 Нарисуйте характеристики бустерных насосов.
- 19 Нарисуйте диаграмму связи параметров диффузионных насосов.
- 20 Запишите алгоритм запуска и остановки диффузионных

насосов.

21 Охарактеризуйте новейшие масла для диффузионных насосов.

22 Опишите аварийные ситуации при работе диффузионных

насосов.

23 Приведите алгоритм согласования насосов по потоку газа.

24 Объясните принцип работы адсорбционного насоса.

25 Напишите алгоритм запуска электроразрядного насоса.

26 Приведите схемы манометров различного типа.

27 Нарисуйте конструкции манометров для высоких и сверхнизких давлений.

28 Объясните алгоритм градуировки термопарных датчиков.

29 Опишите работу магниторазрядного датчика для сверхнизких давлений.

30 Объясните физические принципы, положенные в основу достижений в измерении вакуума термопарными датчиками.

31 Опишите волоконнооптические, радиоактивные и тензодатчики.

32 Проанализируйте ошибки и погрешности при измерения давлений.

33 Приведите блок-схему измерения давления с помощью ЭВМ.

34 Охарактеризуйте методы течеискания.

35 Объясните принцип работы вакуумметра- течеискателя.

36 Объясните работу галогенного течеискателя.

37 Назовите физические процессы, лежащие в основе построения измерителей парциального давления.

38 Назовите характеристики оборудования для течеискания.

39 Объясните метод масспектрометрии в течеискании.

40 Приведите схему устройства спектрометра с магнитной разверткой.

41 Сравните времяпролетные и квадрупольные масспектрометры.

42 Опишите работу монополярного масспектрометра.

43 Объясните метод накопления в течеискании.

44 Перечислите технические достижения в течеискании.

45 Назовите типы вакуумных ловушек и их параметры.

### **2.3.2 Металло-керамические спаи и вводы в вакуум**

1 Из чего состоит вакуумная керамика и как ее классифицируют?

2 Какова роль стекловидной фазы в составе керамики?

3 Какие типы металло-керамических спаев наиболее распространены в приборостроении?

4 Назовите принципы согласования спаев.

5 Как производится металлизация керамики?

6 Какой состав металлизационных паст?

7 Сравните методы нанесения пасты на керамику.

8 Изложите технологию вжигания паст.

- 9 Как проводится компрессионная пайка под водородом?
- 10 Как происходит активная пайка вытеснением компонент?
- 11 Перечислите припой-диэлектрики.
- 12 Каким образом производится пайка стекла с металлом?
- 13 Чем отличается пайка твердыми и мягкими припоями?
- 14 Как контролируется качество и прочность пайки?
- 15 Каковы способы уменьшения напряжения в несогласованных спаях?
- 16 Как проводится электронно-лучевая пайка?
- 17 Как делаются металlostеклянные вводы?

### **2.3.3 Электронно-лучевая технология**

- 1 Каковы особенности электронно-лучевого нагрева материалов?
- 2 Обоснуйте режимы электронно-лучевой микрообработки.
- 3 Приведите вакуумное и камерное оборудование для электронно-лучевых технологий
- 4 Какие особенности обработки диэлектриков электронными пучками?
- 5 Как строится программное управление в размерной обработке?
- 6 Обоснуйте режимы электронно-лучевой сварки.
- 7 Как производится транспортировка электронного луча в атмосферу?
- 8 По каким критериям производится выбор технологических электронных пушек?
- 9 Как производится предсварочная обработка материалов?
- 10 Каким образом реализуется снятие напряжений после сварки?
- 11 Поясните режим кинжального проплавления электронным лучом?
- 12 Как рассчитываются параметры паровой фазы в процессе электронно-лучевой сварки?
- 13 Сравните электронно-лучевую и плазменную сварку?
- 14 Как проводится расчет параметров электронной пушки?

### **2.3.4 Ионно-лучевая технология**

- 1 Какие требования предъявляются к ионным источникам?
- 2 Приведите сравнение принципиальных схем ионных источников различных типов.
- 3 В какой вакуумной среде и при каких режимах проводится ионная очистка материалов?
- 4 Опишите процесс ионного легирования.
- 5 В чем состоит особенность ионного легирования полупроводников?
- 6 Каковы режимы ионной имплантации?

- 7 Как отличаются параметры установок для ионного легирования и имплантации?
- 8 Каким образом оценивается распределение примесей при ионной имплантации?
- 9 Как проводится размерная ионная обработка диэлектриков?
- 10 Охарактеризуйте ионно-лучевое травление пьезоэлектриков.
- 11 Поясните механизмы ионного травления материалов.
- 12 Как производится стимулирование ионного травления?
- 13 Чем отличается ионная полировка от ионного травления?
- 14 Какова особенность конденсации ионно-распыленных атомов?
- 15 Как реализуется ионно-плазменное распыление материалов?
- 16 Какова связь параметров ионного распыления?

### 2.3.5 Модификация поверхности

- 1 Какие факторы определяют возможность применения модификации и упрочнения поверхности?
- 2 Какие методы измерения твердости Вы знаете?
- 3 Опишите методы традиционного упрочнения изделий, их достоинства и недостатки.
- 4 Какие приемы ионного упрочнения Вы знаете?
- 5 Как производится упрочнение осаждением плазмы материала электрода на электродуговых установках?
- 6 Каковы правила построения упрочняющих установок?
- 7 Как производится упрочнение электронным ударом?
- 8 Объясните механизм упрочнения поверхности алмазоподобными пленками.
- 9 Как реализуется упрочнение сильноточными электронными и ионными пучками?
- 10 Поясните механизм упрочнения перенапылением керамики.
- 11 Какова особенность развития механизма теплопередачи при упрочнении поверхности?
- 12 Как производится упрочнение поверхности с помощью лазера?
- 13 Приведите схему детонационного упрочнения с помощью порошков?
- 14 Нарисуйте схему газопламенного упрочнения поверхности.
- 15 Какова технология восстановления деталей перед упрочнением?
- 16 Чем производится обработка деталей после упрочнения?
- 17 Как производится упрочнение объемных деталей?
- 18 Поясните сущность упрочнения нитридами.
- 19 На каких принципах базируется теория упрочнения азотированием?
- 20 Охарактеризуйте различие нитридов титана и циркония для упрочняющих технологий.
- 21 Как проводится ионная имплантация?

- 22 Каковы особенности упрочнения погружением в жидкий азот?
- 23 Как формируются карбиды вольфрама для упрочняющих технологий?
- 24 Приведите принцип построения установок выращивания керметов.
- 25 Как происходит ионное перемешивание поверхностного слоя?
- 26 Как корректируется углеродный состав при упрочнении?
- 27 Как проводится упрочнение дуговым разрядом с подачей газа?
- 28 Как реализуется электрошлаковая упрочняющая наплавка?
- 29 Охарактеризуйте катодные пятна первого, второго и третьего рода.
- 30 Проведите обзор установок для ионного упрочнения и легирования.
- 31 Как проводится упрочнение катодно-анодным оксидированием?
- 32 Какова последовательность операций при восстановлении деталей?

### 2.3.6 Плазменная технология

- 1 Охарактеризуйте параметры плазмы для технологических целей.
- 2 Обозначьте технологические свойства плазмы дугового разряда.
- 3 Как устроены плазмотроны?
- 4 Как производится тепловой расчет плазмотрона?
- 5 Каковы требования к источникам питания для плазменной обработки?
- 6 В чем различие режимов плазменной резки и плазменной сварки материалов?
- 7 Как проводится поверхностная плазменная обработка?
- 8 Опишите технику и технологию плазменной наплавки.
- 9 Почему плазменная сварка не находит широкого распространения в машиностроении?
- 10 Как производится плазмо-механическая обработка поверхности?
- 11 Нарисуйте строение плазмонапыленных покрытий.
- 12 Приведите последовательность операций плазменного напыления композиционных материалов.
- 13 Обоснуйте необходимость вспомогательного оборудования для плазменного напыления (дозаторов, манипуляторов, вентиляторов)
- 14 Приведите основные правила техники безопасности при работе с плазмотроном.
- 15 В чем состоит особенность конструирования мощных плазмотронов?
- 16 Из каких материалов изготавливаются катоды, аноды и сопла плазмотронов?
- 17 Каков перечень контрольно-измерительной аппаратуры при

плазменной обработке материалов?

- 18 Как выполняется микроплазменная сварка пластмасс?
- 19 Приведите структуру библиотеки программ и подсистемы подготовки изделий под плазменную обработку.

### 2.3.7 Порошковая технология

- 1 В каких областях машиностроения следует отдавать предпочтение применению порошковой технологии?
- 2 Назовите методы получения порошков.
- 3 Объясните гранулометрический и дисперсионный состав порошков.
- 4 Для чего нужны примеси в порошках?
- 5 Каковы причины газовыделения порошковых материалов?
- 6 Назовите технологические и аутогенные свойства порошков.
- 7 Какие особенности диффузионных процессов в порошках?
- 8 Что понимается под сегрегацией порошковых покрытий?
- 9 Какова технология спекания и горячего прессования порошков?
- 10 Как изготавливаются многокомпонентные порошковые материалы?
- 11 Чем объясняется эволюция параметров порошков?
- 12 В каких условиях проводится реакционное спекание?
- 13 Какие особенности технологии получения керметов?
- 14 Какова технология получения тугоплавких материалов?
- 15 Как получить сверхтвердые порошки?
- 16 В чем отличие порошковых и обычных сталей?
- 17 Какие порошковые антифрикционные материалы Вы знаете?
- 18 Опишите технологию получения металлопористых материалов.
- 19 Какова технология получения волоконно-пористых материалов?
- 20 Назовите методы анализа материалов на пористость.
- 21 Сравните между собой несколько электрофизических методов прессования порошков.
- 22 Как реализуется взрывное прессование порошков?
- 23 Как получают порошково-плазменные покрытия?
- 24 Каким образом прессуются порошковаметаллические покрытия?
- 25 Как проводится измерение твердости порошковых материалов?
- 26 Проанализируйте заключительные стадии обработки порошков.
- 27 Как расшифровываются марки порошков?
- 28 Какие добавки используются при спекании порошков?
- 29 Проанализируйте методы контроля размеров порошков.
- 30 Почему порошки взрывоопасны?
- 31 Опишите технологию получения карбонитридов.
- 32 Какие методы получения нитридов Вы знаете?

### 2.3.8 Защитные технологические покрытия

- 1 Чем отличаются пленочные покрытия от технологических?
- 2 Как проводится подготовка поверхности к покрытию?
- 3 Опишите последовательность декапирования.
- 4 Какова роль зарядчика при катафорезе и анафорезе?
- 5 Какие покрытия наносятся на катод и как?
- 6 Какие достоинства и недостатки у электрохимических покрытий?
- 7 Приведите классификацию поверхностей по шероховатости.
- 8 Как выполняются чернящие покрытия?
- 9 Перечислите методы оценки адгезии покрытий.
- 10 Охарактеризуйте лучевые, дуговые, магнетронные, плазмотронные и другие методы осаждения покрытий.
- 11 На каком оборудовании производится металлизация полупроводников?
- 12 В чем причина деградации покрытий?
- 13 Как проводятся покрытия методом трафаретной печати?
- 14 Как проводится шелкография?
- 15 Из каких материалов выполняются защитные покрытия микросхем?
- 16 Опишите процесс покрытия полимерами (флокирование).

### 2.3.9 Лазерная технология

- 1 Как выбираются лазеры для технологических целей?
- 2 Устройство технологический электроионизационный лазера
- 3 Как производится расчет параметров лазерного нагрева?
- 4 В чем состоит особенность лазерной обработки пленок?
- 5 Перечислите основные узлы установки лазерной обработки
- 6 Опишите технологический процесс лазерной сварки
- 7 Какие меры применяются для избавления от брызгового эффекта?
- 8 Как реализуется лазерное напыление пленок и покрытий?
- 9 Как производится лазерное сверление алмазов?
- 10 Опишите особенности лазерно-плазменной обработки материалов.
- 11 Как реализуется ионно-лазерное нанесение пленок?
- 12 В каких технологиях применяются электронно-лазерные пучки?
- 13 Поясните условия улучшения чистоты и стехиометрии пленок.
- 14 Как реализовать взрывное лазерное испарение материалов?
- 15 Приведите технологический процесс лазерного отжига кристаллов.
- 16 Как реализуется лазерное упрочнение поверхностей?
- 17 Как производится лазерная маркировка изделий?
- 18 В чем состоит особенность технологии лазерной пайки?

- 19 Как выполняется лазерная подгонка элементов микросхем?
- 20 Каким образом производится лазерно-ионная имплантация?
- 21 Перечислите дефекты лазерной обработки материалов?
- 22 Как производится лазерное стимулированное травление?
- 23 Как выполняется безрезистивная лазерная литография?

## **Раздел 3 Основы технологии изготовления оптических материалов и изделий**

### **3.1 Содержание раздела**

Пленочная технология. Методы формирования оптоэлектронных покрытий. Эпитаксия в технологии изготовления элементов фотоники. Литография.

### **3.2 Методические указания по изучению раздела**

В разделе «Основы технологии изготовления оптических материалов и изделий» следует обратить внимание на применимость того или иного метода нанесения пленок, на методы повышения адгезии и измерение параметров пленок.

### **3.3 Вопросы для самопроверки**

#### **3.3.1 Пленочная технология**

- 1 Охарактеризуйте типы пленок.
- 2 Укажите типы термоиспарителей и требования к ним.
- 3 Сравните термоионное и электронно-лучевое осаждение пленок.
- 4 Каковы особенности безтигельного испарения пленок?
- 5 Объясните диаграмму равновесия при испарении сплавов.
- 6 Как реализуется метод вспышки?
- 7 Как получить пленки равномерной толщины?
- 8 Какие условия, влияют на рост пленок?
- 9 Каковы особенности испарения сублиматоров?
- 10 В чем преимущество пленок, полученных лазерным испарением?
- 11 Приведите схему процесса лазерного испарения.
- 12 Опишите условия улучшения чистоты и стехиометрии пленок.
- 13 Объясните процесс реализации взрывного испарения пленок.
- 14 Как получить пленки без газовых включений?
- 15 Назовите способы уменьшения загрязнений в пленках.
- 16 Нарисуйте схемы распыления материалов со смещением потенциалов, со вспомогательным электродом.
- 17 Каковы особенности геттерного распыления пленок?
- 18 Как влияет режим откачки на загрязнение пленок?
- 19 Опишите принципы работы аппаратуры для контроля скорости и толщины нанесения пленок.

- 20 Охарактеризуйте достоинства и недостатки ионного осаждения пленок.
- 21 Назовите факторы, влияющие на скорость осаждения пленок.
- 22 Сравните диодные, триодные и тетродные системы для распыления материалов.
- 23 Приведите схемы магнетронного и высокочастотного распыления.
- 24 Сравните системы для напыления пленок и особенности их применения.
- 25 Как оценить адгезию пленок?
- 26 Каковы приемы повышения адгезии пленок?
- 27 Охарактеризуйте строение плазмонапыляемых материалов.
- 28 Как влияют условия напыления на пористость пленок?
- 29 Какова связь теплового режима подложки и зародышеобразования.
- 30 Как провести прогнозирование свойств напыленных пленок?
- 31 Как проводится оценка толщины пленок?
- 32 Как провести контроль качества поверхности пленок?
- 33 Опишите способ получения пленок плазмореактивным осаждением.
- 34 Для чего проводится напыление с подслоем?
- 35 Зачем необходимы отжиг и вжигание пленок?
- 36 Перечислите установки для напыления пленок.
- 37 Приведите алгоритм расчета параметров напыления.
- 38 Как измеряется поверхностное сопротивление пленок.
- 39 Как получить пленки тугоплавких металлов?
- 40 Приведите способы получения диэлектрических защитных пленок.
- 41 Каковы методы получения окисных пленок?
- 42 Охарактеризуйте методы выращивания окислов в парах воды.
- 43 Опишите методику меченых атомов в контроле толщины пленок.
- 44 Как проводится окисление кремния в сухом и влажном кислороде.
- 45 Каковы методы ускорения окисления?
- 46 Приведите схему окисления с применением электронных пучков.
- 47 Как проводится окисление в тлеющем разряде.
- 48 Опишите процесс окисления в углекислом газе.
- 49 Поясните методы измерения прозрачных окисных пленок.
- 50 Охарактеризуйте свойства окисных пленок.
- 51 Опишите процесс формирования структур типа металл- окисел-полупроводник.
- 52 Охарактеризуйте процесс напыления окунанием в паровую фазу.
- 53 Опишите возможные газо-фазные реакции при напылении пленок.
- 54 Что такое изобарный потенциал?
- 55 Поясните диаграмму фазных состояний при напылении пленок.
- 56 Что такое энтальпия активации процесса?
- 57 Поясните понятие энтропии газо-фазной реакции.

### 3.3.2 Эпитаксия

- 1 Опишите технологию традиционной эпитаксии и ее недостатки.
- 2 Охарактеризуйте общие условия искусственной эпитаксии .
- 3 Сравните методы ориентированной кристаллизации.
- 4 Перечислите условия кристаллизации при ионно-лучевом и магнетронном распылении.
- 5 Поясните технологические приемы кристаллизации.
- 6 Объясните механизмы ориентации кристаллов при эпитаксии.
- 7 Расскажите, как провести анализ пленок на монокристалличность.
- 8 Опишите методы перекристаллизации пленок.
- 9 Разъясните условия проведения боковой эпитаксии.
- 10 Назовите методы кристаллизации селекцией затравок.
- 11 Охарактеризуйте методы альтернативной эпитаксии.
- 12 Приведите условия проведения высококачественной эпитаксии.
- 13 Объясните механизм взрывной кристаллизации.
- 14 Назовите методы стимуляции эпитаксии.
- 15 Как провести эпитаксию молекулярными пучками?
- 16 Как проводится низкотемпературная эпитаксия в плазме?
- 17 Выращивание многослойных эпитаксиальных структур?
- 18 Как проводится эпитаксия под действием ионных пучков?
- 19 Поясните особенности использования ЭВМ для эпитаксии.
- 20 Как проводится маркировка кремниевых эпитаксиальных структур?
- 21 Охарактеризуйте процесс легирования эпитаксиальных слоев.
- 22 Как проводится подготовка поверхности под эпитаксию?
- 23 Опишите технологический цикл проведения эпитаксии.
- 24 Контроль параметров и дефектов эпитаксиальных слоев?
- 25 Каковы методы получения молекулярных пучков для эпитаксии.
- 26 Молекулярно-лучевая эпитаксия
- 27 МОС-гидридная эпитаксия

### 3.3.3 Литография

- 1 Назовите виды литографий и их разрешающие возможности.
- 2 Охарактеризуйте позитивные и негативные фоторезисты.
- 3 Приведите типовой фотолитографический процесс.
- 4 Методы нанесения фоторезиста, их достоинства и недостатки.
- 5 Что влияет на качество микросхем при литографии?
- 6 Охарактеризуйте методы совмещения изображений.
- 7 Процессы, сопутствующие проявлению фоторезиста.
- 8 Как проводится перенос изображения в топологические слои?
- 9 Приведите алгоритм выбора фотошаблонов.
- 10 Последовательность операций по изготовлению фотошаблонов.
- 11 Охарактеризуйте достижения науки и техники в технологии

изготовления фотошаблонов.

- 12 Назовите методы мультипликации и репродуцирования.
- 13 Поясните принцип работы фотоповторителя.
- 14 Охарактеризуйте методы травления фоторезиста.
- 15 Сравните изотропность и селективность методов вакуумно-плазменного травления фоторезиста.
- 16 Назовите параметры плазменного и плазмохимического травления.
- 17 Сравните высокочастотное, радикальное, ионно-лучевое, ионно-плазменное травление материалов при литографических процессах..
- 18 Назовите правила подбора плазмообразующих смесей.
- 19 Опишите основные системы установок плазмохимического удаления фоторезиста.
- 20 Как устроены реакторы плазмохимического травления материалов?
- 21 Опишите механизмы ионного травления фоторезиста.
- 22 Приведите заключительные операции фотолитографического процесса.
- 23 Сравните достоинства и недостатки рентгенолитографии.
- 24 Приведите принципиальные схемы реализации параллельной и сканирующей электролитографии.
- 25 В чем преимущества электронрезистов?
- 26 Какие ограничения электролитографии?
- 27 Какие отличия режимов реализации ионолитографии?
- 28 Как реализуется процесс лазерной литографии?
- 29 Какие особенности безрезистивной литографии?
- 30 Каким образом реализуется обратная электронная литография?
- 31 Какие преимущества имеет голографическая литография?

## **Раздел 4 Основы автоматизации процессов производства оптических материалов и изделий**

### **4.1 Содержание раздела**

Общая структурная схема автоматического регулирования. Моделирование процессов. Задающие устройства и первичные системы управления. Порядки уравнений управления техпроцессами. Типичные законы управления типа П, ПИ, ПИД. Пневмоавтоматика. Числовое программное управление. Языки программирования технологического оборудования. Язык релейно-контактных символов. Язык типа Время-команда, время – параметр. Языки типа КАУТ, STPI. Робототехника

### **4.2 Методические указания по изучению раздела**

В разделе «Основы автоматизации процессов производства оптических материалов и изделий» обращает на себя внимание

моделирование процессов и анализ систем на устойчивость. В теме «Числовое программное управление» и «Робототехника» обратите внимание на понятие смысла числового управления, на анализ уравнений процесса, на расчет перебазировки координат при выполнении операций.

### 4.3 Вопросы для самопроверки

#### 4.3.1 Автоматизация технологических процессов

- 1 Какова структурная схема систем автоматического регулирования?
- 2 Первичные элементы и задающие устройства автоматики.
- 3 Приведите алгоритм управления технологическими процессами.
- 4 Опишите стандартные законы управления типа П, ПИ, ПИД.
- 5 Многоуровневые системы децентрализованного управления.
- 6 Что включает в себя алгоритм диагностики работоспособности оборудования?
- 7 Как строятся подсистемы управления технологическими процессами: технолог, инструмент, кадры и др.?
- 8 Приведите схему подсистемы управления температурными режимами.
- 9 Как выглядит подсистема управления газовыми потоками?
- 10 Перечислите элементы пневмоавтоматики, их достоинства, недостатки, показания к применению.
- 11 Приведите схему пневматического усилителя.
- 12 Как строятся подсистемы плазмохимической обработки?
- 13 Из каких знаков состоит язык релейно-контактных символов?
- 14 Как кодируется технологический процесс языком релейно-контактных символов?
- 15 Языки пользователя типа ВРЕМЯ-КОМАНДА, ВРЕМЯ-ПАРАМЕТР?
- 16 Как записываются команды в языке программирования типа КАУТ?
- 17 Приведите алгоритм программирования работы вакуумной установки на языке КАУТ.
- 18 Что такое интерфейсы сопряжения с ЭВМ ?
- 19 Какие способы соединения приборов с ЭВМ Вы знаете?
- 20 Приведите фрагмент многоуровневой библиотеки КАМАК.
- 21 Перечислите групповые измерительные преобразователи .
- 22 Объясните назначение устройств сопряжения с объектом.
- 23 Что включают в себя автоматизированные испытательные стенды?
- 24 Как строятся автоматизированные системы сбора данных от электронно-лучевой установки?
- 25 Опишите основные процедуры библиотек КАМАК.
- 26 Как происходит разработка автоматизированной системы

измерения медленноменяющегося параметра?

27 Какова типовая структура языка STPI?

#### 4.3.2 Числовое программное управление (ЧПУ)

- 1 Перечислите противопоказания к применению ЧПУ.
- 2 Приведите общую схему технологического процесса с ЧПУ.
- 3 Поясните стандартные системы с ЧПУ и варианты их построения.
- 4 Назовите показатели эффективности ЧПУ.
- 5 Объясните многовариантные техпроцессы для ЧПУ.
- 6 Приведите пути оптимизации техпроцесса для систем с ЧПУ.
- 7 Назовите технологические устройства отчета и контроля параметров.
- 8 Перечислите блоки системы контроля состояния инструмента.
- 9 Приведите алгоритм перестройки оборудования, управляемого посредством ЧПУ.
- 10 Назовите причины возникновения погрешностей в ЧПУ.
- 11 Перечислите этапы подготовки производства под ЧПУ.
- 12 Назовите стадии подготовки программных продуктов для ЧПУ.
- 13 Охарактеризуйте функционально-технологический анализ подготовительных операций.
- 14 Модели технологичности для ЧПУ.
- 15 Поясните системы подготовки типа "технолог-1", "технолог-2" и ее подсистемы: инструмент, документация, контроль, ресурсы и др.
- 16 Поясните информационное обеспечение систем с ЧПУ.
- 17 Назовите программные модули систем с ЧПУ.
- 18 Перечислите каталоги программно-технологических модулей.
- 19 Поясните принципы кодирования технологических операций.
- 20 Объясните принцип унификации технологических циклов, операций, деталей и инструментов при кодировке.
- 21 Составьте фрагмент информационного обеспечения технологических карт для ЧПУ.
- 22 Составьте фрагмент маршрутной карты под ЧПУ.
- 23 Составьте операционную карту рабочего места.
- 24 Поясните критерии необходимости роботизации в системах ЧПУ.
- 25 Назовите типы роботов для ЧПУ.
- 26 Перечислите рекомендации по согласованию работа с техпроцессом.
- 27 Назовите системы управления роботом.
- 28 Перечислите унифицированные системы управления роботом.
- 29 Объясните схемы построения ЧПУ с гибкими автоматизированными участками и комплексами.
- 30 Объясните последовательность выполнения операций с ЧПУ.

- 31 Охарактеризуйте цифровые модели объектов.
- 32 Назовите способы цифрового задания линий.
- 33 Приведите фрагмент линейной программы токарной обработки.
- 34 Приведите фрагмент программы с непрерывным изменением аргумента.
- 35 Объясните принцип построения программ типа "пакет формул".
- 36 Приведите начальные и конечные операции программирования ЧПУ.
- 37 Приведите фрагмент программы с подпрограммами.
- 38 Приведите фрагмент программы с операциями цикла.
- 39 Приведите фрагмент программы с косвенной адресацией.

## **Раздел 5 Эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования. Сертификация и инструкции по эксплуатации**

### **5.1 Содержание раздела**

Децентрализованные системы обеспечения работоспособности вакуумной установки. Аварийные режимы вакуумного оборудования. Методы реанимации режимов. Профилактики. Проектирование новых производств. Монтаж электроустановок. Сертификация и инструкции по эксплуатации.

### **5.2 Методические указания по изучению раздела**

В разделе «Эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования. Сертификация и инструкции по эксплуатации», необходимо обратить внимание на правила размещения оборудования, реанимации режимов.

### **5.3 Вопросы для самопроверки**

#### **5.3.1 Технология обслуживания вакуумных установок**

- 1 Объясните принцип калибровки датчиков измерения вакуума.
- 2 Перечислите приемы повышения точности измерения.
- 3 Назовите характерные неисправности в системе измерения вакуума и методы их устранения.
- 4 Объясните запредельные режимы работы датчиков давления.
- 5 Приведите алгоритмы форсированного включения и выключения установок.
- 6 Проанализируйте методы реанимации рабочих режимов при работе вакуумных установок.
- 7 Опишите приемы повышения скорости откачки вакуумного оборудования.

- 8 Объясните методы индикации выхода откачных средств на рабочий режим.
- 9 Приведите методы аварийного выхода из рабочего режима.
- 10 Объясните методы экспресс - обработки графиков откачки в течеискании.
- 11 Объясните причины появления мнимых течей.
- 12 Приведите алгоритмы диагностики на течь.
- 13 Опишите порядок проведения профилактики вакуумных систем
- 14 Объясните физические принципы, лежащие в основе перестройки диффузионных насосов под требуемый вакуум и скорость откачки.
- 15 Приведите типичные неисправности вакуумных установок и методы их устранения.
- 16 Назовите правила маркировки баллонов для сжатых газов.
- 17 Опишите схему подключения газовых баллонов к вакуумной установке.
- 18 Приведите схему работы вакуумной установки на кислороде.
- 19 Объясните принцип измерения импульсных давлений.

### **5.3.2 Проектирование новых производств**

- 1 Приведите схему замкнутого технологического процесса.
- 2 Нарисуйте схема замкнутого производства изготовления конкретного изделия.
- 3 Проанализируйте обратную связь в технологическом процессе для устранения брака.
- 4 Объясните принципы автоматизации в разработке техпроцессов.
- 5 Опишите разветвленные многовариантные технологические процессы.
- 6 Приведите схему оптимизации техпроцессов.
- 7 Составьте технологическую карту изготовления конкретного изделия.
- 8 Составьте сопроводительные документы на высокоответственные изделия.
- 9 Проведите анализ инновационного проекта на технологичность.
- 10 Перечислите модели технологичности нового изделия.
- 11 Укажите критерии технологичности сборки.
- 12 Назовите инженерные методы устранения ошибок проектирования.

### **5.3.3 Монтаж технологических электроустановок**

- 1 Перечислите основные правила устройства электроустановок.
- 2 Перечислите основные документы для монтажа технологических установок.

- 3 Назовите элементы пусковой автоматики.
- 4 Составьте фрагмент силовой низковольтной цепи для вакуумной установки.
- 5 Нарисуйте фрагмент схемы подключения нагрузки через автоматику защиты.
- 6 Проведите расчет нагрузки технологической операции и ее согласование с питающей сетью.
- 7 Нарисуйте принципиальную схему высоковольтной цепи вакуумной установки.
- 8 Нарисуйте схему защитной автоматики высоковольтных цепей.
- 9 Обоснуйте принципы развязки низковольтных цепей от высоковольтных.
- 10 Поясните работу развязывающего трансформатора.
- 11 Нарисуйте схему электрической развязки систем охлаждения.
- 12 Поясните назначение обслуживающей автоматики.
- 13 Приведите фрагмент блокировки по электрическим параметрам, по воде, по вакууму.
- 14 Поясните назначение отдельных исполнительных элементов автоматики: реле времени, счетчики с исполнительными механизмами.
- 15 Приведите принципиальную схему включения исполнительного концевого механизма.
- 16 Сравните достоинства ламповых и тиристорных регуляторов.
- 17 Приведите фрагмент схемы аварийной автоматики.
- 18 Приведите фрагмент схемы электромагнитной защиты в высоковольтной и низковольтной цепи.
- 19 Перечислите пассивные элементы защиты высоковольтных установок.
- 20 Перечислите требования к построению пультов управления.
- 21 Объясните назначение блоков дистанционного управления.
- 22 Приведите фрагмент системы автоматики электрофизической установки.
- 23 Объясните необходимость автоматики запуска.
- 24 Поясните назначение автоматики возврата к исходному состоянию.
- 25 Приведите фрагмент схемы индикатора перезагрузки.
- 26 Обоснуйте необходимость следящей автоматики.

#### **5.3.4 Сертификация, стандартизация, инструкции и программное обеспечение**

1. Что такое сертификация?
2. Проведите сертификацию материалов, необходимых для формирования алюминиевого контакта на кристалл ниобата лития
3. Разработайте инструкцию по включению установки на форвакууме.

4. Составьте инструкцию по соблюдению последовательности технологических операций подготовки испарителя для испарения алюминия методом термического испарения в вакууме на стекло.
5. Составьте инструкцию на последовательность операций по очистке стеклянной подложки перед напылением пленки алюминия
6. Составить общую схему последовательности технологических операций по очистке стеклянных изделий
7. Разработайте инструкцию по выключению установки, работающей на форвакууме
8. Разработайте инструкцию по выключению установки, работающей на высоком вакууме
9. Какой язык пользователя наиболее предпочтителен для ручного управления регулятором нагревателя?
10. Какой язык пользователя наиболее предпочтителен для подачи команды, если обеспечится вакуум в системе?
11. Составить инструкцию на последовательность технологических операций для формирования волновода на стекле
12. Составить инструкцию на последовательность технологических операций для формирования волновода на ниобате лития

## **6 Лабораторные работы**

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Лабораторные работы проводятся циклическим и фронтальным методом согласно графика, установленного индивидуально для каждой студенческой бригады. При подготовке к лабораторной работе студент должен руководствоваться индивидуальным заданием, номер которого соответствует номеру, присвоенному бригаде. По мере освоения оборудования студентам могут поручаться индивидуальные работы в плане фрагментов научно-поисковых работ.

Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

Вступительный этап включает анализ полученного индивидуального задания, изучение рекомендуемых литературных источников по теме задания, знакомство с приборами, методами и схемами измерений. Исходя из возможностей лабораторного оборудования и условий индивидуального задания, выбирается и обосновывается метод проведения эксперимента, составляется методика и программа выполнения работы. В процессе самостоятельной подготовки к лабораторной работе каждый студент ведет черновик отчета, куда вносятся:

- схема установки;
- методика проведения работы;
- формулы и предполагаемые графики.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они знакомятся с установкой, уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

В экспериментах, когда это важно, всегда следует ставить пробные опыты, которые преследуют несколько целей:

– экспериментатор «знакомится» с данным экспериментом. В каждом эксперименте своя методика и связанные с нею определенные, часто повторяющиеся операции, и экспериментатору необходимо поупражняться или попрактиковаться в их выполнении. Первые несколько измерений в эксперименте почти всегда менее надежны или менее ценны, чем последние, и обычно удается сэкономить время, если в начальный период работы затратить часть его на то, чтобы найти наилучшие способы проведения измерений и записи результатов;

– проверяется работа отдельных элементов установки аппаратуры;

– определяется соответствующий интервал значений для каждой из величин, измеряющихся в данном эксперименте;

– оцениваются возможные ошибки в различных величинах.

В ходе пробного опыта следует провести некоторые предварительные измерения и составить план с указанием величин, которые необходимо измерять, и оценить время, необходимое на каждое такое измерение.

Прежде чем, приступить к систематическим измерениям, необходимо убедиться, что Вы знаете, как работает прибор, какая взаимосвязь между отдельными элементами установки, т.е. что чем регулируется. Разобраться в

этом вопросе студенту поможет внимательное чтение инструкций, описаний приборов и частных методических указаний.

В каждом эксперименте очень важно сразу же записывать все сделанное. Все результаты измерений следует записывать немедленно и без какой-либо обработки. Не проводите никаких, даже самых простых, арифметических расчетов в уме, прежде чем записать результат измерения. Пересчет показаний прибора в истинное значение измеряемой величины выполняется в процессе обработки результатов измерений. При проведении и записи измерений хорошо проверить то, что Вы записали, взглянуть еще раз на прибор.

Все записи необходимо датировать и снабжать заголовками.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным, составленным по установленной форме, и содержать следующие разделы: наименование работы; цель работы; индивидуальное задание; применяемая аппаратура; ее описание (система, класс, цена давления и т.д.); краткое изложение методики, схемы опытов; таблицы данных измерений; итог обработки результатов и расчетные формулы; графики; анализ результатов и погрешностей; фрагмент конструкции соединения. Анализ результатов является важной частью отчета.

Здесь нужно привести:

- сопоставление с другими аналогичными результатами, если они имеются, с обязательной ссылкой на литературный источник;
- сопоставление с соответствующими теориями;
- причины, обусловившие погрешности измерений и методы их устранения.

Таким образом, отчет студента должен представлять собой пусть небольшую, но законченную работу, хорошо оформленную и грамотно изложенную.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

- 1 Исследование вакуумной системы
- 2 Исследование масляных средств откачки
- 3 Исследование проводимости вакуумных коммуникаций
- 4 Исследование процессов газовой выделенности материалов в вакууме
- 5 Исследование процесса нанесения пленок магнетронным способом
- 6 Изучение вакуумтермического метода нанесения проводящих и резистивных покрытий
- 7 Исследование процесса электродугового напыления покрытий в вакууме
- 8 Исследование технологии изготовления оптического волновода
- 9 Исследование процесса ионно-плазменного распыления материалов

## 7 Практические занятия

На практических занятиях студенты приобретают навык моделирования и прогнозирования технологических операций по изготовлению электронных приборов. Студентам предлагается оценка граничных условий применения соотношений, умение составления программ для расчетов, умение сравнивать полученные результаты с аналогами и достижениями в данной области.

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал, ответив на вопросы для самоконтроля по необходимой теме, а также просмотреть рекомендации по решению типичных задач этой темы. Темы практических занятий приведены ниже:

- 1 Вакуумная технология
- 2 Подготовка изделий к технологическим операциям
- 3 Пленочная технология, эпитаксия
- 4 Лучевые технологии (электронно-лучевая, лазерная)
- 5 Технология оптических материалов и изделий
- 6 Основы автоматизации производства оптических материалов и изделий
- 7 Числовое программное управление
- 8 Сертификация, инструкции, последовательности операций

## 8 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи, возникающие при внедрении передовых технологий в производстве. Тематика самостоятельных работ предполагает обработку материалов с помощью современных электронно-ионных и плазменных технологий. Отдельные фрагменты тем могут составлять предмет научных исследований.

### **Примерный перечень тем для самостоятельных работ по разработке технологических процессов**

1. Процесс изготовления оптического волновода на ниобате лития.
2. Процесс изготовления оптического волновода на стекле.
3. Формирование оптического зеркала с внешним отражающим слоем
4. Формирование двухслойных просветляющих покрытий
5. Процесс легирования ниобата лития железом
6. Процесс ионного травления ниобата лития
7. Формирование полупрозрачного влагостойкого покрытия
8. Формирование покрытия на стекле «под золото»
9. Процесс формирования покрытия с равными коэффициентами отражения, преломления и пропускания
10. Формирование покрытия для отражения интенсивного лазерного излучения

Студент защищает реферат, по выбранной теме, на практическом занятии.

## 9 Индивидуальное задание

### Исходные данные:

- рабочий вакуум 0,01 Па;
- подложка: кристалл или стекло (выбираются самостоятельно);
- толщина пленки 0,6 мкм;
- материалы: титан, свинец, алюминий, цинк (выбираются самостоятельно);
- метод формирования нанослоя – электрофизический.

### Отчет по индивидуальному заданию

Реферат. Метод решения, параметры процесса, уровень математического аппарата, уровень ЭВМ, уровень компьютерной графики, наличие публикаций.

- 1 Введение. Суть решаемой проблемы.
  - 2 Теоретическая часть. Литературный обзор по данной теме (патентный поиск, иностранная и отечественная периодика); выводы и постановка задачи; обоснование выбора метода решения
  - 3 Расчетная часть. Расчет вакуумной системы, расчет электрофизических параметров, расчеты для формирования пленок и др.
  - 4 Технологическая часть. Последовательность технологических операций изготовления изделия
  - 5 Экспериментальная часть. На какой установке можно изготовить изделие и при каких режимах;
  - 6 Конструкторская часть. Фрагмент конструкции соединения
- Заключение  
 Список использованных источников  
 Приложение А.
- Студент защищает индивидуальное задание на практическом занятии.

## 10 Тестовые вопросы

### 10.1 Вакуумная технология

- 1 Какой предельный вакуум обеспечивают серийные форвакуумные одноступенчатые насосы? 1 Па, 0,1 Па, 5 Па

2 По мере уменьшения давления в вакуумной системе, начиная с какого вакуума можно измерять давление датчиком ПМИ-2? 1Па, 0,1 Па, 10 Па.

3 На каком минимальном давлении механический форвакуумный насос обеспечивает максимальную производительность? 1Па; 0,1 Па; 100 Па.

4 Какое назначение регулятора напряжения нагревателя диффузионного насоса в гелиевом течеискателе? 1 - для регулировки напряжения нагрева 2 - для уменьшения времени выхода на режим 3 - для повышения чувствительности.

5 Какое назначение газобалластного устройства? 1 - для регулировки давления на входе вакуумнасоса, 2 - для улучшения откачки конденсирующихся газов, 3 - для уменьшения шума при работе вакуумнасоса

6 Чем обусловлено предельное минимальное давление диффузионного вакуумнасоса? 1 - производительностью самого насоса, 2 - испарением паров рабочей жидкости, 3 - минимальным давлением на выходе насоса.

7 Как изменяется проводимость вакуумной коммуникации с изменением температуры газа? 1 - возрастает, 2 - не изменяется 3 - уменьшается.

8 В каком случае вакуум считается безмасляным? 1 - применены безмасляные откачные средства, 2 - работа проводится в сверхглубоком вакууме, 3 - в спектре остаточных газов отсутствуют углеводороды.

9 При неоднократном поиске течи предельно достигаемое давление в системе составляет 10 Па и уменьшается на 1 Па после каждого испытания. Определите 1 - система негерметична, 2 - система обезгаживается, 3 - имеется погрешность в системе измерения давления.

10 Укажите марку установки вакуумного напыления. 1-УВН-2М, УРМ-2, МИР-2.

## 10.2 Подготовка изделий к технологическим операциям

1 При прогреве изделия основное обезгаживание прошло за несколько минут. Какой основной механизм сорбции газа? 1- адсорбция 2- хемосорбция 3-абсорбция.

2 Почему высоковакуумные коммуникации не выполняют из резины? 1 - сжимаются под действием вакуума, 2 - большое газовыделение и проницаемость для газов, 3 - резина боится паров масел.

3 Сколько категорий разделения помещений по условиям вакуумной гигиены?

4 При травлении кристалла скорость травления вглубь в 5 раз превышает скорость травления вдоль поверхности. Каков показатель анизотропии? 1- 5; 2 - 1/5; 3 - 1.

5 Деионизованная вода для очистки изделий – это: 1 - продукт двойной дисциляции воды 2 - продукт обработки воды ионообменными смолами, 3 - вода, обработанная в электрическом разряде.

6 Газовое травление кремниевых структур это: 1 - травление в газовом разряде, 2 - травление при высокой температуре в среде активного газа, 3 - травление в высокочастотном поле в среде галогеносодержащих газов.

7 С какого времени оценивается начало процесса ионного травления? 1 - с момента зажигания разряда 2 - с момента обеспечения плотности тока более  $7 \text{ mA/cm}^2$ , 3 - с момента изменения вольт-амперной характеристики.

8 Что в большей мере влияет на скорость ионного травления? 1 - напряжение разряда, 2 - ионный ток, 3 - механизм ионного травления.

9 Как изменяется проницаемость материалов при повышении температуры? 1 - увеличивается, 2 – уменьшается, 3 - не изменяется.

### 10.3 Пленочная технология, эпитаксия

1 Сколько типов пленок Вы знаете? 1, 2, 4.

2 В каком случае больше адгезия пленок: при термическом (1) или электродуговом (2) испарении пленок в вакууме?

3 Какой фактор преобладает при подаче смещающего потенциала до 200 В на подложку при ионно-плазменном напылении материалов. 1 - повышение адгезии, 2 - уменьшение количества газа в пленке, 3 - повышение скорости напыления.

4 Каким способом предпочтительнее измерить толщину полупрозрачной металлической пленки? 1 - по электропроводности, 2 - по пропусканию света, 3 - эллипсометрическим способом.

5 Для чего проводится напыление с подслоем? 1 - для улучшения внешнего вида изделий, 2 - для повышения адгезии, 3 - для уменьшения шероховатости поверхности

6 Какой предельный угол между одноименными гранями кристаллической пленки, более которого пленка считается не эпитаксиальной? 1- 10, 2 - 20, 3 - 30 градусов.

7 Как изменится скорость осаждения пленки на подложку, если давление в вакуумной камере повысится от 0,01 до 1 Па. 1 - не изменится, 2 - уменьшится, 3 - увеличится.

8 Какова единица измерения поверхностного сопротивления пленок 1- Ом, 2- Ом/квadrat, 3 - Ом/см<sup>2</sup>

### 10.4 Сертификация и разработка инструкций по эксплуатации

1 Сертификация – это: 1 - подтверждение стандарта на обеспечение определенного параметра, 2 - инструкция по эксплуатации, 3 - свидетельство о полной или неполной комплектации.

2 Самодельные регуляторы напряжения, установленные на рабочем месте это: 1 - не сертифицированная продукция, 2 - частично сертифицированная, 3 - сертифицированная.

3 Вы устанавливаете электрический рубильник, снятый с производства. Изделие: 1 - сертифицировано, 2 - не сертифицировано, 3 - частично сертифицировано.

4 Какое первичное звено рассматривает инструкцию по эксплуатации: 1 - ответственный за лабораторию, 2 - отдел техники безопасности, 3 - отдел главного энергетика.

## **Заключение**

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Способы улучшения стехиометрии и чистоты пленок при термовакuumном испарении материалов
2. Аппаратуру контроля скорости и толщины нанесения пленок
3. Прогнозирование качества пленок в зависимости от метода их получения.
4. Приемы повышения адгезии пленок.
5. Технологические приемы улучшающие равномерность распределения толщины формируемых покрытий.
6. Оценку направления газо-фазных реакций при термовакuumном напылении пленок.
7. Условия проведения искусственной эпитаксии
8. Виды литографий, их достоинства и недостатки
9. Механизмы ионного травления и их приоритетность при обработке конкретных материалов.
10. Общую последовательность операций по очистке деталей для электронных приборов
11. Методы оценки мощности электронного или ионного источника, необходимой для проведения технологических операций.
12. Методы измерения твердости материалов
13. Технику и технологию процесса плазменной наплавки, ее достоинства и недостатки
14. Методы получения порошков
15. Контроль размеров порошков и их сепарация
16. Согласование металлокерамических спаев электровакuumных приборов
17. Достоинства и недостатки лучевых, дуговых, магнетронных и плазменных методов осаждения покрытий
18. Приемы программирования систем автоматизированного управления на языках типа «релейно-контактных символов», «время-команда», «время-параметр», «КАУТ», «STPI».

19. Методы анализа вакуумных систем на герметичность.
20. Средства отсчета базовых координат для станков с числовым программным управлением.
21. Кодировку технологических циклов, операций, деталей и инструментов при автоматизации технологических процессов.
22. Методы анализа проектов и документов на технологичность
23. Методы формирования герметичных вводов в вакуум или в электронный прибор
24. Методы изоляции элементов интегральных микросхем
25. Единую систему допусков, посадок и квалитетов
26. Количественную оптимизацию параметров технологических процессов
27. Электрическую развязку систем охлаждения от высокого напряжения.
28. Порядок размещения элементов ИМС на подложке
29. Технологию формирования покрытий методом катодно-анодного оксидирования
30. Варианты построения цветовых уравнений при корректировке цветовой композиции электронного прибора
31. Методы реанимации режимов и последовательностей технологических операций
32. Технологические приемы повышения радиационной стойкости электронных приборов
33. Методы защиты электронных приборов от наводок и помех
34. Правила устройства электроустановок с позиций эргономики, технической эстетики и дизайна.

### **Рекомендуемая литература**

#### Основная литература

1. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы: учебное пособие для вузов / А. А. Барыбин - М.: Физматлит, 2006. – 423 с
2. Данилина Т.И., Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро - и нанотехнологий. - Томск, 2005. – 400 с.
3. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 525 с. ISBN 5-03-003432-3
4. Данилина Т.И. Технология СБИС: учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, - Томск : ТУСУР, 2007. - 287 с.
5. Орликов Л. Н. Основы технологии оптических материалов и изделий: Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2011. – 240 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
6. Орликов Л. Н. Основы технологии оптических материалов и

изделий: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям – Томск: ТУСУР, 2011. – 24 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

7. Орликов Л. Н. Основы технологии оптических материалов и изделий: Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе – Томск: ТУСУР, 2011. – 35 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

8. Орликов Л.Н. Исследование вакуумной системы: Методические указания к лабораторной работе – Томск, ТУСУР, 2011. – 14 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

9. Орликов Л. Н. Исследование масляных средств откачки: Методические указания к лабораторной работе – Томск, ТУСУР, 2012. – 17 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

10. Орликов Л. Н. Исследование проводимости вакуумных коммуникаций: Методические указания к лабораторной работе – Томск, ТУСУР, 2012. – 13 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

11. Орликов Л. Н. Исследование процессов газовой выделенности материалов в вакууме: Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2012. – 16 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

12. Орликов Л. Н. Исследование процесса нанесения пленок магнетронным способом: Методические указания к лабораторной работе – Томск, ТУСУР, 2012. – 13 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

13. Орликов Л. Н. Изучение вакуумтермического метода нанесения проводящих и резистивных покрытий: Методические указания к лабораторной работе – Томск, ТУСУР, 2012. – 22 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

14. Орликов Л. Н. Исследование процесса электродугового напыления покрытий в вакууме: Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2012. – 11 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

15. Орликов Л. Н. Исследование технологии изготовления оптического волновода: Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2011. – 14 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

16. Орликов Л.Н. Исследование процесса ионно-плазменного распыления материалов: Методические указания к лабораторной работе – Томск, ТУСУР, 2012. – 19 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>

Периодическая литература (за последние 5 лет).

Журналы: “Физика и химия обработки материалов”, “Известия вузов, серия физика”, “Автоматика и вычислительная техника” и др.

Реферативные журналы: ”Электроника”, “Физика”, “Химия”.

Описания патентов и авторских свидетельств по классам H01J, H01S, H05H, C23C.

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Основы технологии оптических материалов и изделий

Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_ Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40