

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

Кафедра электронных приборов

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ ФОТОНИКИ,  
ГОЛОГРАФИИ, ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ВОЛОКОННОЙ  
ОПТИКИ**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления 12.04.03 - «Фотоника и  
оптоинформатика»

## **Орликов Леонид Николаевич.**

Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики: Методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 12.04.03 - «Фотоника и оптоинформатика» / Л. Н. Орликов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - : , 2019. -40 с.

Данные методические указания ставят своей целью оказать помощь студентам в изучении новейших высоких технологий производства приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики. Это требует овладения навыками самостоятельной работы с учебной и периодической литературой, с описаниями патентов и авторских свидетельств, умения самостоятельно излагать свои мысли и знания в процессе изучения дисциплины.

Методические указания предназначены для студентов при работе над индивидуальным заданием и при подготовке к его защите. Они также могут использоваться в процессе проведения консультаций, коллоквиумов и выработки единых критериев оценки заданий.

Методические указания содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведены темы индивидуальных самостоятельных работ.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению 12.04.03 - «Фотоника и оптоинформатика» по дисциплине «Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики».

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

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ  
ФОТОНИКИ, ГОЛОГРАФИИ, ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ВОЛОКОННОЙ  
ОПТИКИ**

Интодические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления 12.04.03 - Фотоника и оптоинформатика

Разработчик  
д-р техн. наук, проф. каф.ЭП  
\_\_\_\_\_ Л.Н.Орликов  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## Содержание

Введение.....	6
Раздел 1 Процесс получения материалов для электронных приборов.....	7
1.1 Содержание раздела.....	7
1.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
1.3 Вопросы для самопроверки.....	7
Раздел 2 Кинетика технологического процесса.....	8
2.1 Содержание раздела.....	8
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
2.3 Вопросы для самопроверки.....	8
Раздел 3 Межфазные взаимодействия в технологических процессах.....	8
3.1 Содержание раздела.....	8
3.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
3.3 Вопросы для самопроверки.....	9
Раздел 4 Вакуумная технология.....	9
4.1 Содержание раздела.....	9
4.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
4.3 Вопросы для самопроверки.....	9
Раздел 5 Электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология...	10
5.1 Содержание раздела.....	10
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	10
5.3 Вопросы для самопроверки.....	10
Раздел 6 Специальные вопросы технологии изготовления приборов и устройств.....	11
6.1 Содержание раздела.....	11
6.2 Методические указания по изучению раздела.....	11
6.3 Вопросы для самопроверки.....	11
Раздел 7 Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики.....	11
7.1 Содержание раздела.....	11
7.2 Методические указания по изучению раздела.....	12
7.3 Вопросы для самопроверки.....	12
Раздел 8 Сервисное обслуживание установки молекулярно-лучевой эпитаксии.....	12
8.1 Содержание раздела.....	12
8.2 Методические указания по изучению раздела.....	12
8.3 Вопросы для самопроверки.....	12
9 Лабораторные работы.....	13
10 Практические занятия.....	16
10 Темы для самостоятельного изучения.....	17
11 Индивидуальные задания для самостоятельной работы.....	18
11.1 Тематика индивидуальных заданий.....	18
11.2 Порядок выполнения задания.....	19
11.3 Требования к отчету по индивидуальному заданию.....	20

12 Тесты для проработки материала .....	27
Заключение .....	31
Рекомендуемая литература .....	32
Приложение А .....	34
Приложение Б .....	35
Приложение В.....	36
Приложение Г .....	37
Приложение Д.....	38
Приложение Е.....	39

## Введение

*Целью самостоятельной работы* в дисциплине «Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики» является систематизация, расширение и закрепление теоретических знаний студентов и их применение при решении конкретных задач; развитие инженерных навыков разработки и конструирования технологической оснастки и узлов технологического оборудования, обучение студентов различным методам исследований и анализу полученных результатов, а также развитие навыков самостоятельной творческой работы, что способствует успешному решению конкретных производственных задач и развитию творческой инициативы.

Данные методические указания ставят своей целью оказать помощь студентам в изучении новейших высоких технологий производства приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики. Это требует овладения навыками самостоятельной работы с учебной и периодической литературой, с описаниями патентов и авторских свидетельств, умения самостоятельно излагать свои мысли и знания в процессе изучения дисциплины.

Методические указания предназначены для студентов при работе над индивидуальным заданием и при подготовке к его защите. Они также могут использоваться в процессе проведения консультаций, коллоквиумов и выработки единых критериев оценки заданий.

Методические указания содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведены темы индивидуальных самостоятельных работ.

Темы сформированы в развивающем режиме и позволяют осваивать материал с применением Интернета, библиотечных ресурсов. Фрагменты самостоятельной проработки материала выносятся на контрольные работы.

После изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

- способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности;

- готовностью к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы);

- способностью определить цели и план научных исследований; способностью идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере профессиональной деятельности;

- готовностью обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований;

- способностью применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции;
- способностью владеть методикой оценки технологических нормативов при производстве новой техники;
- способностью обеспечивать экологическую безопасность производства на предприятиях;
- способностью к разработке методов инженерного прогнозирования и диагностических моделей состояния приборов и систем фотоники в процессе их эксплуатации.

## **Раздел 1 Процесс получения материалов для электронных приборов**

### **1.1 Содержание раздела**

Материалы для приборов электронной техники, фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики. Технология получения кристаллов. Материалы оптоэлектроники, материалы для элементов на поверхностных акустических волнах. Материалы для волноводов. Получение наноматериалов. Типовые технологические процессы в технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики.

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

В данном разделе следует обратить внимание на подобие и типизацию технологических процессов. Все процессы начинаются с уточнения задачи, просмотра литературы о достижениях в подобной отрасли знаний. Важным является входной контроль по марке и качеству материала, подлежащего обработке.

### **1.3 Вопросы для самопроверки**

1. Как получают кристаллы?
2. Какими свойствами должны обладать материалы для приборов техники, фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики?
3. Что такое квантовая яма?
4. Приведите способ получения квантовых точек
5. Какие материалы используются для элементов на поверхностных акустических волнах?
6. Какие оптические требования предъявляются к материалам для приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики
7. Как устроен световод?
8. Как устроен волновод?
9. Как формируются квантовые точки методом ионной

имплантации?

10. Что такое молекулярная самосборка?

## **Раздел 2 Кинетика технологического процесса**

### **2.1 Содержание раздела**

Уравнения состояния процесса. Математическое моделирование процессов. Кинетическое уравнение процесса откачки. Кинетика термического испарения материалов в вакууме. Кинетика формирования пленок на подложке. Диффузионные и сорбционные явления

### **2.2 Методические указания по изучению раздела**

В данном разделе следует обратить внимание на математическое моделирование кинетики технологических процессов

### **2.3 Вопросы для самопроверки**

1. Запишите некоторые кинетические уравнения для термического испарения материала в вакууме
2. Запишите кинетическое уравнение процесса откачки газа из вакуумной системы
3. Зарисуйте потенциальную диаграмму процесса конденсации пленки на реальной поверхности
4. Какие поверхностные явления происходят на подложке?
5. Сравните эффективность обезгаживания материалов при нагреве электронным лучом и традиционными способами нагрева
6. Поясните первый и второй законы Фика для диффузии
7. Модели поверхностной диффузии
8. Методы стимулирования диффузии
9. Как определить механизм диффузии газа из материала
10. Как провести анализ глубины диффузии

## **Раздел 3 Межфазные взаимодействия в технологических процессах**

### **3.1 Содержание раздела**

Межфазное равновесие процессов. Теплота, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия. Фазовая диаграмма. Формирование высококачественных пленок. Кинетика процесса молекулярно-лучевой эпитаксии. Теория формирования пленок по Френкелю и по Семенову. Кинетика наноразмерных структур

### 3.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе обращается внимание на такие понятия как энтальпия, энтропия процесса. Особое внимание уделяется газофазным реакциям в остаточном вакууме при температурах плавления материала и конденсации пленок.

### 3.3 Вопросы для самопроверки

1. Понятие равновесия фазового состояния вещества при определенной температуре и давлении.
2. Понятие энтропии и энтальпии процесса
3. Что такое фазовая диаграмма?
4. Понятие изобарного потенциала
5. Как получить пленки с заданным составом?
6. Как определить направление газофазной реакции?
7. Какие соединения преобладают при конденсации пленок в системах с масляными средствами откачки?
8. Как уменьшить количество газа в пленках?
9. Как повысить адгезию пленок
10. Какие газы преобладают в системах с безмасляными средствами откачки?

## Раздел 4 Вакуумная технология

### 4.1 Содержание раздела

Расчет вакуумных систем. Согласование откачных средств. Измерение вакуума. Рекомендации по поиску негерметичности вакуумных систем. Тенденции развития вакуумной техники

### 4.2 Методические указания по изучению раздела

В данной теме обращается внимание на расчет вакуумных систем, методы измерения вакуума и поиск негерметичности вакуумных систем.

### 4.3 Вопросы для самопроверки

1. Как проводится расчет вакуумных систем?
2. Как проводится согласование откачных средств?
3. О чем гласит основное уравнение вакуумной техники?
4. Как влияет пропускная способность коммуникаций на эффективность использования откачного оборудования?
5. Приведите средства измерения высокого вакуума
6. Приведите средства измерения давлений в области ста паскалей

7. Какие средства откачки используются для получения сверхнизких давлений?
8. Как найти течь расчетным методом?
9. Какие практические методы поиска течей?
10. Каковы тенденции развития вакуумной техники

## **Раздел 5 Электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология**

### **5.1 Содержание раздела**

Электронные источники для технологии. Расчет мощности электронного источника. Рекомендации по применению электронно-лучевых технологий.

Ионно-лучевая технология. Параметры ионных источников. Некоторые схемы ионных источников. Системы и механизмы ионного травления материалов. Плазменная технология.

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

В данной теме обращается внимание на расчет источника электронов; построение схемы ионных источников и систем ионного травления материалов.

### **5.3 Вопросы для самопроверки**

1. Приведите некоторые схемы источников электронов
2. Приведите некоторые схемы источников газовых ионов
3. Как оценивается необходимая мощность источника электронов?
4. Как оценивается цена иона?
5. Как проводится вневакуумная электронно-лучевая обработка материалов?
6. Какими параметрами должен обладать электронный луч для размерной микрообработки?
7. Как рассчитываются некоторые параметры электронных и ионных источников?
8. Поясните механизмы ионного травления материалов.
9. Приведите схему ионно-плазменного травления материалов.
10. Приведите схему плазмотрона, работающего при атмосферном давлении

## **Раздел 6 Специальные вопросы технологии изготовления приборов и устройств**

### **6.1 Содержание раздела**

Технология приборов квантовой электроники. Технология приборов фотоники и оптоэлектронных элементов. Технология формирования акустоэлектронных элементов, технология изготовления волноводов.

### **6.2 Методические указания по изучению раздела**

В данной теме студент должен усвоить построение последовательностей формирования приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики. Важно заметить, что необходимо провести моделирование процесса. Следует обратить внимание на справочные данные материалов, марки, состав. Проанализировать режимы и рабочие среды для проведения технологических операций и провести обзор литературы по проведению предполагаемого процесса.

### **6.3 Вопросы для самопроверки**

1. Какова общая схема построения последовательностей технологических операций?
2. Какие особенности подготовки кристаллов к процессу формирования пленок?
3. Как по вольт-амперной характеристике определяются стадии процесса?
4. Выберите материал и приведите схему формирования волновода на стекле
5. Приведите схему формирования алюминиевых контактов на акустоэлектронном элементе.
6. Опишите экспресс метод анализа на волноводность
7. Опишите процесс легирования диффузионного волновода
9. Опишите процесс формирования полупрозрачного покрытия на стекле
10. Приведите схему электронно-лучевого формирования покрытия в безмасляном вакууме

## **Раздел 7 Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики**

### **7.1 Содержание раздела**

Понятие эпитаксии, виды эпитаксий. Кинетика процесса молекулярно-лучевой эпитаксии. Методы анализа эпитаксиальных

структур. Установки для молекулярно-лучевой эпитаксии. Процессорное управление установками эпитаксии. Вакуумная гигиена.

## **7.2 Методические указания по изучению раздела**

В данной теме обращается внимание на процессы, влияющие на состав пленок. Именно высококачественные пленки получают методами эпитаксии

## **7.3 Вопросы для самопроверки**

1. Виды эпитаксий, достоинства, недостатки
2. Кинетика процесса молекулярно-лучевой эпитаксии
3. Методы анализа эпитаксиальных структур
4. Назовите марки установок для молекулярно-лучевой эпитаксии
5. Вакуумная гигиена при эпитаксии
6. Каковы модели роста кристалла в процессе эпитаксии
7. Теории конденсации пленки по Френкелю и по Семенову.
8. Технология легирования эпитаксиального слоя
9. Технические средства анализа поверхности в установках эпитаксии
10. Приведите принципиальную схему расшифровки параметров процесса молекулярно-лучевой эпитаксии.

## **Раздел 8 Сервисное обслуживание установки молекулярно-лучевой эпитаксии**

### **8.1 Содержание раздела**

Методика анализа поверхности методом дифрактометрии. Специальные вопросы технологии молекулярно-лучевой эпитаксии. Контроль качества эпитаксиальных слоев

### **8.2 Методические указания по изучению раздела**

После освоения этой темы студент должен знать, как устроена установка молекулярно-лучевой эпитаксии, как контролировать ее работоспособность

### **8.3 Вопросы для самопроверки**

1. Общее устройство установки молекулярно-лучевой эпитаксии типа КАТУНЬ
2. Как повышают равномерность толщины пленки в молекулярно-лучевой эпитаксии

3. Приведите схему вакуумной системы установки молекулярно-лучевой эпитаксии
4. Как проводится регистрация роста кристалла на люминесцентном экране камеры роста?
5. Как проводится контроль толщины эпитаксиальной пленки методом эллипсометрии?
6. Как проводится контроль температуры эпитаксиальной пленки методом эллипсометрии?
7. Как проводится контроль начала роста сверхрешеток и квантовых точек при молекулярно-лучевой эпитаксии?
8. Суть метода осцилляции яркости при анализе роста эпитаксиальных структур.
9. Как проводится контроль состава пленки в процессе эпитаксии?
10. Как проводится процесс обработки изображений процесса формирования структур на ЭВМ?

## **9 Лабораторные работы**

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. В результате выполнения лабораторных работ студенты приобретают следующие компетенции:

- способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности;
- способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований;
- способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями;
- способность владеть методами проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства;
- способность разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники;
- готовность обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов;
- готовность осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и системы электронной техники на этапах проектирования и производства;

– готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.

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. 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. Измерение параметров вакуумной системы на ЭВМ в реальном режиме времени.
2. Моделирование условий формирования окисных пленок легкоплавких металлов.
3. Сервисное обслуживание вакуумной установки УВН 2М-1.

## **10 Практические занятия**

На практических занятиях студенты приобретают навык моделирования и прогнозирования технологических операций по изготовлению приборов оптической электроники и фотоники. 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.

В результате выполнения и обсуждения практических заданий студенты приобретают следующие компетенции:

- способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности;
- готовностью к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы);
- способностью определить цели и план научных исследований; способностью идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере профессиональной деятельности;

- готовностью обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований;
- способностью применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции;
- способностью владеть методикой оценки технологических нормативов при производстве новой техники;
- способностью обеспечивать экологическую безопасность производства на предприятиях;
- способностью к разработке методов инженерного прогнозирования и диагностических моделей состояния приборов и систем фотоники в процессе их эксплуатации.

Темы практических занятий приведены ниже:

1. Типовые технологические процессы в технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики.
2. Математическое моделирование кинетики технологических процессов
3. Формирование пленок.
4. Вакуумная технология.
5. Расчет электрофизических параметров источников
6. Технология формирования акустоэлектронных элементов, технология изготовления волноводов.
7. Конференция по темам индивидуальных заданий

## **10 Темы для самостоятельного изучения**

Темы для самостоятельного изучения дополняют и углубляют лекционный материал. Тематика самостоятельных работ предполагает анализ достижений в области обработки материалов с помощью современных электронно-ионных и плазменных технологий. Отдельные фрагменты тем могут составлять предмет научных исследований.

### **Примерный перечень тем для самостоятельных работ**

1. Материалы для волноводов, материалы для элементов на поверхностных акустических волнах. Получение наноматериалов.
2. Кинетическое уравнение процесса откачки. Кинетика термического испарения материалов в вакууме. Кинетика формирования пленок на подложке.
3. Формирование высококачественных пленок. Теория формирования пленок. Кинетика наноразмерных структур.
4. Расчет вакуумных систем. Согласование откачных средств. Тенденции развития вакуумной техники.
5. Рекомендации по применению электронно-лучевых технологий.
6. Некоторые схемы ионных источников. Системы ионного травления материалов.

## **11 Индивидуальные задания для самостоятельной работы**

Индивидуальные задания ставят целью:

- 1) закрепление и углубление теоретических знаний, полученных студентами в теоретических курсах и на производственной практике;
- 2) приобретение опыта работы с научно-технической, справочной патентной литературой, ГОСТами, технологической документацией;
- 3) практическое применение знаний, полученных при изучении общепромышленных и профилирующих дисциплин, использование вычислительной техники, инженерных методов расчета, а также развития конструкторских навыков;
- 4) выработка и закрепление навыков грамотного изложения результатов работы и их защитой перед аудиторией.

Индивидуальное задание спроектировано так, чтобы студент показал знания, умения, навыки, а также освоение компетенций по анализу достижений в технологии, умению строить последовательности технологических операций, умению проводить расчеты, умению выбрать сертифицированное оборудование для реализации своего задания.

### **11.1 Тематика индивидуальных заданий**

Задание обобщает теоретический материал и предполагает творчество в разработке технологии производства приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики.

Тематика задания формируется из банка запросов различных организаций на решение конкретных задач. Студент выбирает тему самостоятельно. При выборе темы учитывается участие студента в научно-исследовательских работах кафедры, в работе студенческого конструкторского бюро.

Перед выполнением задания целесообразно просмотреть фрагменты эмуляции подобных лабораторных работ, отдельные подобные технические решения и методики расчета. Именно на этом первоначальном этапе происходит лексический анализ задачи и уточнение того, что конкретно нужно отразить в задании.

Задание построено по многоуровневой схеме, и предполагает его выполнение исходя из различного стартового уровня знаний или интереса студента к определенной области знаний. Приоритетными тематиками являются электрофизические технологии изготовления фрагментов приборов оптической электроники и фотоники с применением электронов, ионов, плазмы или паров металлов.

Возможными темами могут быть следующие задания.

1. Металлизация конкретного изделия.
2. Формирование покрытий с конкретными функциональными свойствами на конкретных изделиях.

3. Формирование пленок на плоскостях, трубах или изделиях (внутри или снаружи)
4. Нанесение декоративных покрытий под золото на конкретные изделия; материалы подложек: алюминий, полиэтиленовой пленка, лавсан, винипроз, стекло, керамика и т.д.
5. Ионная обработка материалов (травление, очистка, полировка).
6. Модификация поверхности под действием ионного или электронного воздействия.
7. Разработка программных продуктов и отработка технологии программирования при проведении технологических процессов.
8. Процесс изготовления волновода на ниобате лития.
9. Процесс изготовления волновода на стеклах.
10. Процесс ионного травления ниобата лития.
11. Технология формирования солнечного элемента.
12. Технология формирования окисной пленки титана на танталате висмута, ниобате лития.
13. Процесс легирования и диффузии элементов (железо, медь, свинец, церий и др.) в ниобат лития
14. Технология формирования окисной пленки на пьезокристалле
15. Технология ионного легирования или ионной имплантации в пьезокристаллы.
16. Процесс формирования зеркальных покрытий с внешним отражающим слоем.

## 11.2 Порядок выполнения задания

Выполнение задания следует начинать с ознакомления и подбора литературы.

Анализ задания производится на основе изучения патентов, периодической литературы, монографий. Следует обратить внимание на новизну устройства. Новизна заключается в реализации новых физических принципов, новых физических эффектов, новых путей для достижения цели. При этом благодаря введению новых элементов реализуются новые физические процессы. В записку не имеет смысла переписывать какой-либо текст из учебников, монографий и Интернета. Однако, совершенно необходимо нарисовать эскиз аналога прибора из литературного обзора. Следует избегать применения сканерных устройств, так как это лишает студента возможности редактирования и уменьшает уровень компьютерной графики, реализуемый студентом.

По истечении двух недель с момента получения задания, студент должен представить руководителю обзорный материал с эскизами уже имеющихся аналогичных установок, а также техническое предложение по теме задания, которое является результатом анализа задания, обзора литературы и сопровождается эскизами отдельных узлов предполагаемого устройства установки.

Первую часть задания студент сдает на проверку руководителю при наличии задания, введения, реферата, обзора литературы более 10 наименований, расчета откачных средств.

Вторую часть задания студент сдает на проверку руководителю при наличии схемы источника частиц и описания принципа его работы, наличии расчета электрофизических параметров, расчета одного из параметров процесса, наличии последовательности технологических операций, наличии экспериментальной и конструкторской части.

### 11.3 Требования к отчету по индивидуальному заданию

Отчет выполняется шрифтом Times New Roman 14x1,5 и должна в краткой и четкой форме раскрывать творческий замысел работы, содержать описание методов исследования и (или) расчетов, описание проведенных экспериментов, анализ результатов и выводы по ним. Как правило, текст должен сопровождаться иллюстрациями (графиками, эскизами, диаграммами, схемами и т.п.).

Титульный лист

Образец заполнения титульного листа приведен в приложении В.

Образец реферата приведен в приложении Г.

Реферат (0,5 стр)

1. Реферат (ГОСТ 7.9, ГОСТ 7.32) размещается на отдельном листе (странице).

Заголовком служит слово "Реферат" (для реферата на иностранном языке - соответствующий иностранный термин), записанное с прописной буквы симметрично тексту.

2. Реферат должен содержать:

- сведения о количестве листов (страниц), количестве иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений, листов графического материала;

- перечень ключевых слов в именительном падеже (3-5);

- текст реферата.

Текст реферата должен состоять из двух- трех предложений и отражать суть работы, режимы получения результата, а также самооценку своей работы студентом по уровню ЭВМ, уровню математики, наличию публикаций.

Реферат на русском языке и реферат на иностранном языке оформляются на отдельных листах.

Задание

1. В каждой работе должна быть разработана тема в соответствии с заданием

Задание на задание оформляется в виде бланка, содержащего название темы, наименование изделия для обработки, тип напылительного устройства и перечень рассмотренных вопросов. Форма бланка задания приведена в приложении Д.

#### Содержание

Содержание должно отражать все материалы, представляемые к защите работы.

В содержании перечисляют заголовки разделов, подразделов, список литературы, каждое приложение и указывают номера листов (страниц), на которых они начинаются.

Образец оформления содержания представлен в приложении Е.

#### Введение

В разделе "Введение" суть проблемы, её научное, техническое значение и экономическую целесообразность для народного хозяйства. Описывается, как решается данный вопрос на основании литературных источников. Дается критика недостатков. Следует отметить, что критикуются только те недостатки, которые устраняются в данном задании. Рассказывается как можно более качественно и быстро решить проблему. Объем введения составляет 2-3 страницы.

Заголовок "1 Введение" записывают с абзаца с прописной буквы.

#### Литературный обзор

В этом разделе дается краткая характеристика литературных источников, в которых описаны схемы устройств для нанесения покрытий или обработки материалов. Число описанных аналогов должно быть больше 20. Предпочтение следует отдавать периодической литературе, описаниям патентов или авторских свидетельств.

#### Выводы и постановка задачи

В этом разделе обосновывается выбранный метод формирования покрытия для прибора. Показываются преимущества этого метода перед другими методами. Обосновывается выбор типа установки (масляная, безмасляная). Обосновываются возможные токи, напряжения и расходы газа. В этом разделе обосновывается выбор объема рабочей камеры, выбор рабочего давления.

#### Расчетная часть.

Расчет вакуумной системы. Расчет вакуумной системы заключается в определении производительности откачных средств, необходимых для проведения процесса.

### Расчет электрофизических параметров.

Электрофизическая часть предполагает разработку схемы или конструкции устройства для напыления или травления покрытий, а также расчет параметров проводимых процессов. Первоначально, исходя их технологических особенностей проведения процесса, следует выбрать тип используемого источника, отметить зарубежные и отечественные аналоги. При этом целесообразно приводить рисунок схемы устройств и принцип их работы. После этого следует остановиться на предлагаемой схеме устройства, принципе его работы. Следует обратить внимание на научную новизну, заключающуюся в применении новых явлений и эффектов для улучшения получаемых параметров изделий, повышения производительности и т.д.

В ходе выполнения задания выполняется электрофизический расчет, включающий пробеги и скорости частиц, электронную температуру и концентрацию плазмы, расчет коэффициентов распыления, и др. Один из подходов к расчету приведен ниже.

Зная ускоряющее напряжение  $U$ , следует определить скорость  $V$  электронов и ионов из соотношения:

$$mV^2 / 2 = eU$$

где  $m$  – масса частицы.

Для анализа типа разряда (дуговой или тлеющий) определяется электронная температура  $T_e$  по соотношению:

$$\frac{3}{2} kT_e = eU_i$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  – постоянная Больцмана;

$U_i$  – потенциал ионизации молекулы ( $U_i = 15$  В для азота,  $U_i = 20$  В для гелия).

Далее определяется концентрация заряженных частиц  $n$ . Для этого задаются ток разряда  $I$  и площадью эмиссии катода  $S$ . Концентрация частиц определится через плотность тока эмиссии  $J$  соотношением:

$$J = Vne$$

Далее проводится расчет коэффициентов ионизации, расчет параметров, характерных для прибора. Важно провести расчет при нескольких значениях параметров, что позволит проанализировать особенности работы прибора. Следует обосновывать, зачем параметр считается и какая его величина известна из литературы. Ошибкой считается расчет коэффициента термической ионизации, если нет термокатода или Ларморовского радиуса, если нет магнитного поля. Приветствуются формулы не из лекционного материала.

Сравнение следует производить по материалам патентов, описаний авторских свидетельств и периодической печати.

### Технологическая часть

На данном этапе определяется число, последовательность и режимы проведения технологических операций. Проводится расчет скорости и

КПД испарения, массоперенос. Подбирается оборудование и оснастка, обеспечивающие заданное качество обработки и требуемый объем выпуска (составляется инструментальный каталог).

#### Последовательность технологических операций

Сначала рисуется схема последовательности технологических операций с указанием времени проведения процесса, давления и температуры. Число каналов должно быть больше или равно числу участников процесса. Например, участниками процесса напыления пленки в вакууме являются камера, испаритель, навеска, подложка, свидетель, напыляемый материал и т.д. В ходе построения последовательности операций следует предусмотреть обратную связь на случай устранения брака.

В итоге специалист, прочитавший технологическую часть должен понять, как изготовить прибор или его фрагмент.

#### Экспериментальная часть

В экспериментальной части описывается, на какой установке можно воспроизвести тот, или иной фрагмент процесса. Приводится схема эксперимента и условия его выполнения. В качестве экспериментальной части могут быть использованы фрагменты лабораторных работ. Особенность экспериментальной части состоит в том, что в ней указываются конкретные размеры устройств, давления, расходы газа, напряжение, используемое оборудование. Полученные экспериментальные данные сравниваются с литературными источниками и приводятся в реферате.

#### Конструкторская часть

В качестве примера могут быть выбраны конструкции вводов, соединений, конструкции смотровых окон. Общее требование к выбранной конструкции – используемость в данном задании, наличие не менее трех элементов в сборочной конструкции, наличие таблицы из какого материала и каким инструментом выполняется деталь. В конструкции проставляются габаритные размеры изделия. Следует отличать схему от конструкции. Конструкция предполагает сборочный чертеж и наличие толщины стенок.

В качестве конструкции может быть чертеж волновода, схемы установки для проведения исследований, элементы крепления лазера, зеркал, призм и др. Конструкция имеет более высокий рейтинг, чем схема и предполагает возможность практического изготовления по сборочному чертежу. В качестве исходных конструкций могут быть выбраны схемы из лабораторного практикума.

Первоначально, следует сделать вывод о достоинствах и недостатках известных устройств применительно к рассматриваемому процессу. После выбора конструкции следует описать: какие элементы она содержит. После

этого описывается, как это устройство работает, и какие физические эффекты применяются для улучшения параметров изделий.

В ходе конструирования целесообразно провести расчеты. Дополнительные расчеты являются необязательными, но поднимающими авторитет задания.

Каждый графический конструкторский документ (чертеж, схема) должен иметь рамку и основную надпись по ГОСТ 2.104

Основные технологические требования таковы:

- прибор должен быть максимально простым для того, чтобы его изготовление и сборка имели минимальную трудоемкость и по возможности могли быть автоматизированы;

- детали прибора должны изготавливаться из дешевых и недефицитных материалов, если обратное не диктуется какими-либо особыми требованиями, связанными с качеством прибора или его специальным назначением.

Компьютерная часть задания

Расчет на ЭВМ, помимо обучения студентов компьютерной грамоте, дает возможность на инженерном уровне оценить границы применимости математической модели процесса, логичность применения формул, точность расчетов, динамику процесса. Рекомендуется провести оптимизацию протекания процесса, просчет ряда вариантов. При этом в пояснительной записке отражается порядок расчета, язык программирования. Разработанная программа приводится в пояснительной записке.

Наиболее целесообразно рассчитывать систему целиком по разветвленной схеме с условными и безусловными переходами. При этом варьируются условия проведения технологического процесса (объем камеры, температура, ток или напряжение разряда, давление, потоки газоотделения и газопоглощения). Для эффективного проведения технологического процесса геометрия вакуумпровода может быть круглой, квадратной, треугольной, с наличием центральных тел (ловушек, вводов и т.д.). Для каждой геометрии вакуумпровода существует своя математическая модель пропускной способности. По соображениям вакуумной гигиены, шумозащиты, виброзащиты, техники безопасности в ряде случаев вакуумнасосы могут быть вынесены из рабочей зоны цеха. Представляет интерес просчет падения эффективности использования оборудования при изменении длины вакуумпроводов и мест расположения вакуумной арматуры, просчет совместимости высоковакуумного и низковакуумного оборудования, изменения производительности. Применение ЭВМ особенно рекомендуется для оценки предельных возможностей прибора.

### Заключение

Заключение должно содержать краткие выводы по результатам выполненной работы, оценку полноты решения поставленных задач, рекомендации по конкретному использованию результатов работы, её экономическую, научную, социальную значимость. Возможные применения проделанной работы, возможные объемы и рынки сбыта установки или изделий. Возможные варианты перестройки под другой процесс. Перспективы развития работы. В заключении следует отметить преимущества предлагаемого процесса перед известными, виды на возможные применения, рискованные и сомнительные предположения. Объем заключения должен составлять не менее 0,5 стр.

Заголовок "Заключение" записывают с № и большими (прописными) буквами.

### Список использованных источников

Заголовок "Список использованных источников" записывают симметрично тексту с прописной буквы.

В список включают все источники, на которые имеются ссылки в пояснительной записке. Источники в списке нумеруют в порядке их упоминания в тексте арабскими цифрами без точки.

### Пример оформления

1 Ковалев В.В. Технический анализ: управление процессом, выбор инвестиций, анализ возможностей. - М.: Энергия, 2002. - 430 с.

2 ГОСТ 28388-89 Система обработки информации. Документы на магнитных носителях данных. Порядок выполнения и обращения. Из-во стандартов, 2001, 300с

3 ... и т.д.

Ссылка на патент или авторское свидетельство: Фамилия, И, О. Название. Номер патента или авторского свидетельства, номер и год бюллетеня патентной информации. Желательно использование зарубежных источников. Ссылки приводятся на том языке, на котором напечатан материал. Данные по обзору литературы также входят в ссылки.

Примеры библиографических описаний источников приведены в приложении Ж.

### Приложения

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. Например: "Приложение Б".

Каждое приложение следует начинать с нового листа (страницы) с указанием наверху посередине страницы слова "Приложение" и его обозначения, а под ним в скобках - "обязательное" (если его выполнения предусмотрено заданием) или "справочное".

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

#### Проверка и защита задания

Студент сдает преподавателю законченный задание на предварительную проверку. В присутствии студента проверяется наличие разделов задания. Обязательным является анализ достижений науки и техники, расчеты на ЭВМ, последовательность операций, база данных сертифицированного оборудования.

По реферату оценивается метод решения задачи и параметры необходимого оборудования. Проверяется наличие ссылок на литературу, уровень использования ЭВМ, уровень математического аппарата, соблюдение ГОСТ при оформлении схем и рисунков. Проверяется наличие письменного доклада презентации с докладом и оригинальным рисунком в форматах bmp, corel, двух оппонентов со стороны студентов. При отсутствии персонального компьютера студент сдает материалы в ручном варианте, однако, титульный лист и программа для расчета должны быть распечатаны. Через два дня студент получает предварительный отзыв на задание о правильности расчетов и ошибках. Число конференций равно числу групп в потоке. Группы для защиты формируются независимо от списочного состава.

#### Защита индивидуального занятия

Конференции проводятся по результатам защиты самостоятельных работ. Желательно присутствие коллектива поддержки или ученых. Самостоятельная работа спроектирована так, чтобы студент показал знания, умения, навыки, а также освоение компетенций по анализу достижений в технологии, умению строить последовательности технологических операций, умению проводить расчеты, - умению выбрать сертифицированное оборудование для реализации своего задания.

#### Технология подготовки конференции

1 Преподаватель проверяет работу, отмечает ошибки и ставит дату приема.

2 Оргкомитет: (старосты групп в потоке) – собирают презентации докладов для просмотра

3 Затем следует проверка ошибок и выносится решение о допуске к конференции.

Защита включает доклад студента (5-7 минут) и ответы на вопросы (5 мин). В докладе сообщается тема задания, техническое задание, краткое содержание работы. Необходимо обосновать актуальность темы, метод выбранных инженерных решений. Особое внимание в докладе следует уделить самостоятельным творческим разработкам, их технико-экономическому обоснованию. По окончании доклада студенту задаются вопросы, позволяющие оценить, насколько глубоко проработан материал.

В процессе защиты учитываются: самостоятельность работы, оригинальность и тщательность проработки технических решений, качество оформления чертежей и расчетно-пояснительной записки, выполнение ГОСТ, использование ЭВМ в расчетах, полнота и четкость доклада, правильность ответов на вопросы, планомерность работы над заданием и срок защиты (досрочно, в срок, после срока без уважительных причин).

После конференции студентам сообщается оценка. При этом дается краткий анализ задания и доклада, отмечаются достоинства и недостатки задания, высказываются критические замечания и пожелания. Если задание защищается после срока без уважительных причин, то оценка снижается.

#### Критерии оценки задания

Оценка отражает учебную (3 балла), творческую (4) и исследовательскую (5 баллов) часть.

Для оценки хорошо студент должен отметить в докладе конкретную творческую часть задания, предполагаемую для публикации на студенческой конференции.

Для оценки отлично студент должен отметить творческую и исследовательскую часть, иметь наброски доклада для публикации на студенческой конференции и рекомендацию для участия в конкурсе внутри вузовских студенческих работ.

## 12 Тесты для проработки материала

### Тема 1. Процесс получения материалов для приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики

1. Предпочтительные материалы для волноводов 1- с пьезоэффектом, 2-стекло лучше всех, 3-любые материалы

2. Какой темп нагрева кристалла наиболее предпочтителен перед формированием на нем пленки: 1-2К/с, 5 К/с, 10 К/с.

3. Какой метод измерения температуры подложки при формировании сверхрешеток наиболее точен: 1 – измерение оптических постоянных эллипсометром, 2 – лазерный пирометр, 3 – визуальный оптический пирометр с исчезающей нитью.

4. При формировании гетероструктур тигель с мышьяком особой чистоты заполнен наполовину. Нужно ли корректировать программу темпа нагрева тигля: 1 – нужно, 2 – не нужно

5. Наиболее вероятные источники загрязнений металлических изделий: 1 – механический участок, 2 – участок монтажа, 3 – участок литографии

## Тема 2. Основы кинетики технологических процессов

1. Абсорбция это: образование твердого раствора при поглощении газа, 2 – это процесс физического притягивания газов к поверхности, 3 – это процесс выделения газа

2. Какой прогрев при обезгаживании керамики наиболее эффективен: 1 – прогрев электронным лучом, 2 – тепловой прогрев, 3 – СВЧ прогрев

3. Изделие очищают от газов отжигом в водороде. Это 1 – окислительный отжиг, 2 – восстановительный, 3 – вакуумный отжиг.

4. Адсорбция это процесс: 1 – экзотермический, 2 – эндотермический, 3 – нейтральный

5. С какой целью подложка прогревается перед началом формирования пленки: 1 – обезгаживание, 2 – повышение адгезии, 3 – для уменьшения температурных напряжений.

6. Для улучшения равномерности толщины пленки проводят сканирование подложки. Как изменится количество газа в пленке: 1 – увеличится, 2 – уменьшится, 3 – не изменится

## Тема 3. Межфазные взаимодействия в технологических процессах

1. Линия «солидус- ликвидус» это: линия перехода твердого состояния в жидкость и обратно, 2 – линия перехода в пар, 3 – линия симметрии фазовой диаграммы.

2. Константа равновесия это: 1– отношение константы прямой реакции к константе обратной реакции, 2– отношение давления пара металла к давлению в вакуумной камере, 3– константа скорости реакции.

3. Как выглядит простейшее кинетическое уравнение, описывающее процесс конденсации пара на подложке: 1 –  $A_{\text{ТВ}} \rightarrow A_{\text{пар}}$ , 2 –  $A_{\text{пар}} \rightarrow A_{\text{ТВ}}$ , 3 –  $A_{\text{ТВ}} \rightarrow A_{\text{ж}} \rightarrow A_{\text{пар}}$ .

4. Какие соединения чаще всего образуются при создании вакуума масляными средствами откачки: 1 – карбиды, 2 – оксиды, 3 – неорганические соединения

5. В каких осях строится диаграмма изобарного потенциала: 1 – X, Y, 2 – T, % веса, 3 – T, % P<sub>i</sub>

6. Для начала формирования эпитаксиальной пленки на подложке необходимо: 1– фазовое превращение конденсата пара, 2 – преобладание сорбции над десорбцией и фазовое превращение конденсата, 3 – повышение температуры подложки.

#### **Тема 4. Вакуумная технология**

1. Какое назначение газобалластного устройства в диффузионном насосе? 1- для откачки трудноудаляемых газов, 2 – для диффузионного насоса устройство не нужно, 3- для увеличения скорости откачки

2. Потокомер отслеживает статическое и динамически изменяющееся давление в вакуумной камере. Это 1-идеальный регулятор, 2-нет

3. При местном тестировании вакуумной системы на герметичность методом пробной жидкости вакуум улучшился. 1 – система герметична, 2 – система негерметична, 3 – система имеет блуждающую течь.

4. Применение вымораживающих ловушек без их охлаждения: 1 – уменьшает количество углеводородов, 2 – не влияет на количество углеводородов, 3 – увеличивает

5. Укажите правильный алгоритм включения вакуумной установки: 1 – все закрыть, включить форвакуумный насос, 2 – включить форвакуумный насос, 3 – все закрыть, включить форвакуумный и высоковакуумный насос

#### **Тема 5. Электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология**

1. В источник частиц в область термически нагреваемого катода подается газ. При подаче ускоряющего положительного потенциала это:

1 – источник газовых ионов, 2 – источник электронов, 3 – источник нейтральных частиц

2. Источник состоит из холодного алюминиевого катода, полого анода и работает при давлении 1-10 Па. Это: 1 – источник электронов на основе высоковольтного тлеющего разряда, 2 – источник электронов с термокатодом, 3 – источник ионов.

3. После проведения процесса электроннолучевой сварки диэлектрической керамики в камере обеспечивается горение тлеющего разряда. Зачем это делается: 1- для снятия заряда и техники безопасности, 2 – для отжига детали, 3 – для плазменной очистки

4. После электронно-лучевого формирования пленки она отжигается с целью: 1 – повышение адгезии, 2 – уменьшение температурных напряжений, 3 – корректировка технологической и истинной толщины.

#### **Тема 6. Специальные технологические вопросы изготовления приборов квантовой и оптической электроники**

1. На кристалл ниобата лития наносится пленка алюминия без требований по адгезии. Какой метод формирования пленки предпочтительнее: 1 – термическое испарение в вакууме, 2 – формирование с помощью магнетрона, 3 – электродуговое формирование

2. Какое основное преимущество имеет молекулярно-лучевая эпитаксия по сравнению с другими видами эпитаксий: 1 – отслеживание каждого слоя гетероструктуры, 2 – большая скорость роста, 3 – экологически чистое производство

3. Возле камеры перед модулем загрузки и выгрузки подложек расположен блок дополнительной очистки воздуха. Это делается для: 1 – соблюдения вакуумной гигиены, 2 – для обеспечения комфортных условий персоналу, 3 – блок используется как стерильный склад.

4. В момент испарения навески производится испарение газопоглотителя для уменьшения давления. Как изменится состав пленки: 1 – не изменится, 2 – количество газа в пленке уменьшится, 3 – количество газа в пленке увеличится

5. Какое назначение подслоя перед формированием пленки: 1 – для увеличения адгезии, 2 – для уменьшения газовыделений, 3 – для декоративных целей

### **Тема 7. Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики**

1. Эпитаксиальные пленки – это пленки имеющие 1 – сопротивление больше  $20 \text{ Ом}/\square$ , 2 – меньше  $20 \text{ Ом}/\square$ , 3 – около  $100 \text{ Ом}/\square$

2. Один из компонентов для формирования эпитаксиальных пленок триметилиндий  $[\text{In}(\text{CH}_3)_3]$ . Это: 1 – МОС- гидридная эпитаксия, 2 – молекулярно-лучевая, 3 – эпитаксия из расплава солей

3. Формирование эпитаксиальной пленки происходит по схеме: миграция атомов → двумерная жидкость → кристаллизация. Это механизм формирования пленки: 1 – по Н.Н. Семенову, 2 – по Френкелю, 3 – по Кнудсену.

4. Дифрактометрия при энергии электронов до 1,5 кэВ: это 1 – метод анализа химического состава, 2 – метод анализа формы растущих кристаллов, 3 – метод определения показателя преломления

### **Тема 8. Эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования для производства приборов квантовой и оптической электроники**

1. Деталь представлена 6-ю проекциями, вместо 3 по аналогу. Вероятно: 1- деталь нетехнологична, 2 – увеличение проекций сделано для упрощения при изготовлении, 3 – деталь технологична

2. Изделие изготавливается токарным способом из композитного материала с консолью. Изготовление: 1 – технологично, 2 – нетехнологично, 3 – требует новую траекторию процесса

3. Установка мощностью несколько киловатт устанавливается вплотную к стене. Установка расположена 1- правильно, 2 – неправильно, 3 – правильно с незначительными нарушениями

4. Включили нагрев высоковакуумного диффузионного насоса, не включив откачку на его выходе. После 40 минут работы нет высокого вакуума. Меры по реанимации режима: 1- переборка насоса, 2- быстро включить форвакуумный насос; 3- выключит нагрев насоса

### **Заключение**

**В итоге изучения тем студент должен, как минимум знать следующие вопросы:**

1. Общую схему очистки материалов при формировании приборов оптической электроники и фотоники
2. Способы улучшения стехиометрии и чистоты пленок.
3. Принципы контроля скорости и толщины нанесения пленок
4. Прогнозирование качества пленок в зависимости от метода их получения.
5. Приемы повышения адгезии пленок.
6. Методы анализа пленок на монокристалличность.
7. Технологические приемы улучшения равномерности толщины напыления покрытий.
8. Условия проведения различных эпитаксий
9. Виды литографий, их достоинства и недостатки
10. Механизмы ионного травления и их приоритетность при обработке конкретных материалов.
11. Единую систему допусков, посадок и квалитетов
12. Как проводится электрическая развязка систем охлаждения от высокого напряжения.
13. Знать методы герметизации электронных приборов
14. Системы пневмоавтоматики для управления процессами
15. Знать методы изоляции элементов интегральных микросхем. Знать порядок размещения элементов микросхем на подложке.
16. Знать пути повышения радиационной стойкости электронных приборов.
17. Знать правила устройства электроустановок с позиций эргономики, технической эстетики и дизайна.

### **Студент должен уметь:**

1. Уметь оценить мощность электронного или ионного источника, необходимую для проведения технологических операций.
2. Уметь рассчитывать вакуумные системы
3. Уметь согласовать металлокерамические спаи электронных приборов
4. Оценивать достоинства и недостатки лучевых, дуговых, магнетронных и плазменных методов осаждения покрытий
5. Уметь изготавливать чертежи соединений и фрагментов вспомогательного оборудования.

6. Уметь программировать последовательность операций на языках типа “релейно-контактных символов, время-команда, время-параметр, КАУТ”, STPL.

7. Проводить анализ предельных возможностей оборудования для проведения конкретных технологических операций.

8. Проводить оценку направления газо-фазных реакций при формировании пленок.

9. Уметь кодировать технологические циклы, операции, детали и инструменты при автоматизации технологических процессов.

10. Уметь моделировать технологический процесс

#### **Студент должен владеть:**

1. Методами поиска патентной информации
2. Методами анализа вакуумных систем на герметичность.
3. Методами анализа задание ов и документов на технологичность
4. Техникой и технологией получения высокого вакуума.
5. Приемами оптимизации параметров технологических процессов
6. Приемами реанимации технологических режимов

#### **Рекомендуемая литература**

1. Александров С. Е., Греков Ф. Ф. Технология полупроводниковых материалов: Учебное пособие. 2 е изд., испр. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 240 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978 5 8114 1290 7

2. Основы физики плазмы: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. / Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. - СПб.: Издательство "Лань", 2011. - 448 с. ISBN 978-5-8114-1198-6.

3. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2005. - 316 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 310-313.

4. Задачник по электронным приборам : Учебное пособие для вузов / В. А. Терехов. - 3-е изд., перераб и доп. - СПб. : Лань, 2003. - 276[12] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 276-277. -

5. Процессы и установки электронно-ионной технологии : учебное пособие для вузов / В. Ф. Попов, Ю. Н. Горин. - М. : Высшая школа, 1988. - 256 с. : ил. - Библиогр.: с. 250-251. - Предм. указ.: с. 252-253.

6 Физико-химические процессы в технологии РЭА : Учебник для вузов / Владимир Николаевич Черняев. - М. : Высшая школа, 1987. - 375[1] с. : ил.

7 Молекулярно-лучевая эпитаксия : учебное пособие / Л. Н. Орликов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007. - 107 с. : ил.,

8. Специальные вопросы технологии: учебное пособие / Л. Н. Орликов; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2007. - 229 с. : ил.,

9. Приборы и техника эксперимента / Российская Академия Наук (М.), Институт физических проблем им. П.Л. Капицы. - М.: Наука. - Выходит раз в два месяца. - ISSN 0032-8162 с 2008 по 2019 г.г.

10. Известия ВУЗов: научный журнал. Физика / Министерство образования Российской Федерации (Томск), Томский государственный университет. - Томск : СФТИ. - URL: <http://wkap.nl/journals/rupj>. - Выходит ежемесячно. - ISSN 0021-3411 с 2008 по 2019 г.г.

11. Известия ВУЗов: научно-технический журнал. Электроника / Министерство образования Российской Федерации (М.), Московский государственный институт электронной техники. - М. : МИЭТ, 1996 - . - Выходит раз в два месяца. - ISSN 1561-5405 с 2008 по 2019 г.г.

12. Электроника: Реферативный журнал. - М. : ВИНТИ. - С 1998 г. на CD-ROM. - ISSN 0206-5452 с 2008 по 2019 г.г.

13. Орликов Л. Н. Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики: Методические указания по самостоятельной работе – Томск: ТУСУР, 2019. – 35 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications>

Периодическая литература (за последние 5 лет): журналы: “Физика и химия обработки материалов”, “Приборы и техника эксперимента” , “Компьютер пресс”; Известия ВУЗов, серия Физика.

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

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

А также в качестве дополнительной литературы может служить любая литература с ключевыми словами: технология, материалы, плазма, вакуум, оптическая электроника, эпитаксия, нанотехнология.

## Приложение А

### ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ ЗАДАНИЙ

1. Процесс формирования волновода на стекле
2. Процесс формирования волновода на ниобате лития
3. Процесс магнетронного формирования контактов микросхемы
4. Процесс формирования декоративного покрытия из алюминия под золото.
5. Имплантация ионов цинка в кристалл ниобата лития титана или циркония.
6. Электродуговое формирование титановых покрытий на ниобате лития
7. Процесс антикоррозийного покрытия трубчатых элементов изнутри
8. Процесс декоративного покрытия металлических трубчатых элементов снаружи.
9. Процесс тонирования стекол.
10. Формирование трафарета для литографии на кремнии.
11. Напыление покрытия на держатель манипулятора установки эпитаксии.
12. Напыление нитрида титана на держатель подложки
13. Напыление серебра на медные вакуумные уплотнения.
14. Отжиг и очистка проволоки из вольфрама в тлеющем разряде.
15. Упрочнение шторок установок эпитаксии.
16. Напыление нитрида циркония на лопатки авиационных турбин.
17. Упрочнение фрагмента конвейера установки эпитаксии электронным ударом.
18. Изготовление антибликовых покрытий методом ионной обработки.
19. Таймерная программа сопровождения технологического процесса
20. Электронно-лучевая сварка керамики.
21. Металлизация пластмассовых изделий.
22. Распыление фторопласта в порошок.
23. Электронно-лучевая сварка титана, алюминия и др.
24. Напыление ферромагнитного покрытия на пластмассовые диски.
25. Декоративное напыление на керамику под золото.
26. Масс-спектрометрия газов при формировании пленок
27. Упрочнение азотированием в тлеющем разряде.
28. Ионное травление ниобата лития.
29. Напыление прочных зеркал с внешним отражающим покрытием
30. Металлизация органической пленки.

**Приложение Б**  
График выполнения задания

Недел я	Содержание работы	Объем работы, %
1.	Ознакомление с заданием, анализ условий проведения процесса и обзор литературы. Обоснование метода решения задачи	5
2	Выбор режимов работы устройства. Обоснование применяемых материалов и откачного оборудования, элементов внутри камерного оборудования. Описание принципа работы источника электронов или ионов.	10
3	Расчет вакуумной системы: 1) расчет откачных средств; 2) электрофизический расчет;	20
4	Технологическая часть, Экспериментальная часть	30
5-9	2) Конструкторская часть б) схема устройства и его спецификация.	
10	Алгоритм проведения процесса и описание работы установки в целом Оформление пояснительной записки с приложением. Сдача задания на проверку	85 90 100

**Приложение В**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное образовательное бюджетное учреждение  
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра ЭП

**НАЗВАНИЕ**

Индивидуальное задание к самостоятельной работе по дисциплине  
Специальные...  
ФЭТ СР. 559.2000.010 ПЗ (№ из кабинета проектирования)

Студент гр. 349/2  
\_\_\_\_ Т.Г. Маслова  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Принял  
- . техн. наук, проф. каф. ЭП ТУСУР  
\_\_\_\_\_ . .  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г

## Приложение Г

### Реферат

Инд задание 90 с., 3 рис., 30 табл., 25 источников, 3 прил., 4 л. графич. материала.

**НИОБАТ ЛИТИЯ, ТЕРМИЧЕСКОЕ ИСПАРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В ВАКУУМЕ, НАНОСЛОИ.**

Рассматривается процесс формирования волновода на ниобате лития. Нанослой из окиси титана толщиной 0,5 мкм формируется методом термического испарения материалов в вакууме при давлении 0,01 Па. Процесс проводится на установке УВН-2 М.

Напряжение на испарителе составляет 3 В, ток испарителя 200А. Расстояние от испарителя по подложки 170 мм.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003 и представлена на CD (в конверте на обороте обложки).

**Отзыв на работу:** (на отдельном листе)

Уровень математического аппарата – арифметический (3 балла)

Уровень компьютерной графики – пакет Png (3-4 балла)

Процент сканированных рисунков

Уровень применения ЭВМ – программы отсутствуют (3 балла)

Творческое задание: Написать руководство для постановки лабораторной работы: «Формированием волноводного слоя из окиси цинка на стекле». (Выполнено 5 баллов)

Рекомендация к участию в конкурсе студенческих работ или в конференции (5 баллов)

Наличие публикаций: приложена ксерокопия (5 баллов)

## Приложение Д

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение  
высшего образования

Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра электронных приборов

### ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине

\_\_\_\_\_ Специальные...  
\_\_\_\_\_

студенту

\_\_\_\_\_ Фамилия, имя, отчество (полностью)

группа \_\_\_\_\_ Факультета электронной техники

1. Тема задания:

Процесс

2.Срок сдачи студентом законченного задания

3.Исходные данные к объем рабочей камеры  $\text{м}^3$

рабочее давление  $10^{-2}$  Па; рабочий газ аргон (азот)

вакуумная система масляная (безмасляная); площадь подложек  $0,25 \text{ м}^2$

время проведения процесса не более 40 минут

4.Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов вопросов):

Заполняется согласно глав содержания

Приложение: программа конкретного процесса на  $\text{C}^{++}$  (и т.д.)

5.Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Схема вакуумной системы, схема источника частиц, схема последовательности технологических операций, кривые согласования откачных средств

6.Дата выдачи задания

\_\_\_\_\_ Дата, месяц, год

Руководитель

\_\_\_\_\_ должность, место работы,

\_\_\_\_\_ фамилия, имя, отчество

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ (подпись студента)

## Приложение Е

### Основные ошибки при оформлении задания

1. Работа сброшюрована менее чем на три скрепки, не подписана студентом.
2. Отсутствует графа «К защите допустить \_\_\_\_\_»
3. Работа не вычитана (бланк задания с других дисциплин)
4. В реферате нет ключевых слов, метода решения и параметров
5. Нет отзыва студента на работу (уровень математического аппарата, уровень ЭВМ, уровень компьютерной графики, не приложены публикации)
6. Нет штампа большого на содержании и малого штампов на введении.
7. Не соблюдена нумерация глав:
8. Отсутствуют рисунки из литературных источников
9. Отсутствуют ссылки ([1, 2-10]).
10. Литература старше 2002 г. В списке литературы нужно писать Фамилию, Имя, Отчество. Название, Издательство, год, число стр.
11. Ссылки на Интернет ресурс не содержат слов: Электронный ресурс, заголовок с экрана, дата обращения и др.
12. Не указаны ссылки на рисунок или таблицу
13. Нумерация рисунков, таблиц и формул не по главе (нужно рис.3.1)
14. Рисунки сканированы, нечеткие, высота букв меньше 5 мм
15. Конструкции предлагаемых элементов сканированы
16. Формулы не набиты в редакторе, (косые буквы в формуле должны быть косыми в тексте)

### Ошибки при защите задания

1. Презентация не движется, однотонная, на слайде много текста (больше трех предложений).
2. Не соблюдена последовательность доклада: Суть проблемы, метод решения (идея), проведенные исследования по литературе. Что дают расчеты или эксперимент. Что конкретно предложено, что делать дальше.
3. Доклад изобилует сочетаниями: ГМ, А-А, Д-Д, М-М, НУ
4. Нет показа указкой, что и зачем на слайде
5. Число слайдов не соответствует числу минут, отведенных на выступление
6. Нет распечатки презентации.

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии

Методические указания по самостоятельной работе

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