

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение

«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ФОТОНИКИ И ОПТОИНФОРМАТИКИ**

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

2019

**Орликов Леонид Николаевич.**

Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики: Методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «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. - Томск: ТУСУР, 2019. - 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 «Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики»

© Орликов Леонид Николаевич, 2019

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой ЭП

\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ФОТОНИКИ И ОПТОИНФОРМАТИКИ**

Методические 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.

## Введение

*Целью самостоятельной работы* в дисциплине «Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики» 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 нанотехнологий, 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.

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.

Данные методические указания ставят своей целью оказать помощь студентам в изучении новейших высоких нанотехнологий производства приборов оптоинформатики и фотоники. 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 содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведены темы индивидуальных самостоятельных работ.

Процесс изучения дисциплины направлен на

## **Раздел 1. Введение. Основные определения и физические основы нанотехнологий фотоники.**

### **Содержание раздела**

Понятие наноструктур. Эффекты реализуемые на опто и акусто электронных элементах. Квантовые ямы, квантовые точки. Фуллерены. Теория одноэлектронного квантового транзистора. Безмасляные вакуумные системы для роста квантоворазмерных наноструктур.

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

При изучении темы обращается внимание на физические явления, возникающие при уменьшении размеров пленочных структур.

Следует также обратить внимание на спектры остаточных газов при “масляной” и “безмасляной” откачке, на методы уменьшения углеводородов в вакуумной системе.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Квантовая точка, параметры и методы получения
2. Ионный синтез нанослоев
3. Квантовые ямы
4. Понятие каллоидальной точки
5. Нанотрубки и устройства на их основе
6. Фуллерены, свойства и методы их получения
7. Схемы безмасляных вакуумных систем для нанотехнологий
8. Методы получения кристаллических пленок
9. Кинетическое уравнение процесса откачки газа
10. Расчет вакуумных систем

## **Раздел 2. Эпитаксия, нанесение металлов и диэлектриков**

### **2.1 Содержание раздела**

Содержание раздела. Виды эпитаксий, условия и оборудование ее проведения. Газофазная, МОС-гидридная, молекулярно-лучевая эпитаксии. Контроль параметров роста нанослоев.

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

В данной теме следует уяснить особенности строения и характеристики эпитаксиальных пленок. Важным является усвоение модели формирования пленок и причины дефектообразования. Следует различать технологии проведения газофазной эпитаксии, эпитаксии из металлоорганических соединений (МОС-гидридная эпитаксия), молекулярно-лучевую эпитаксию.

### **2.3 Вопросы для самопроверки**

- 1 Сравните технологию газофазной, МОС-гидридной и молекулярно-лучевой эпитаксии.
- 2 Охарактеризуйте общие условия искусственной эпитаксии.
- 3 Поясните технологические приемы кристаллизации.
- 4 Объясните механизмы ориентации кристаллов при эпитаксии.
- 5 Как провести анализ пленок на монокристалличность.
- 6 Опишите методы перекристаллизации пленок.
- 7 Охарактеризуйте методы, альтернативные эпитаксии.
- 8 Как провести эпитаксию молекулярными пучками?
- 9 Как проводится низкотемпературная эпитаксия в плазме?
- 10 Как проводится эпитаксия под действием ионных пучков?
- 11 Поясните особенности использования ЭВМ для эпитаксии.
- 12 Как проводится маркировка кремниевых эпитаксиальных структур?
- 13 Охарактеризуйте процесс легирования эпитаксиальных слоев.
- 14 Как проводится подготовка поверхности под эпитаксию?
- 15 Методы анализа эпитаксиальных структур (ОЖЕ, ДБЭ, ВИМС)
- 16 Приведите вакуумную схему установки для молекулярно-лучевой эпитаксии
- 17 Условия проведения эпитаксии в вакууме
- 18 Фазовая диаграмма роста эпитаксиальных пленок
- 19 Схема оборудования в вакуумной камере для проведения эпитаксии
- 20 Обеспечение вакуумной гигиены при эпитаксии
- 21 Контроль качества роста структур по рефлексам

- 22 Метод эллипсометрии при анализе поверхности
- 23 Устройство молекулярных источников
- 24 Схема работы манипулятора в процессе эпитаксии

### **Раздел 3. Методы оптической литографии. Современные технологии оптической литографии**

#### **3.1 Содержание раздела**

Суть, виды, методы и оборудование литографий. Современные технологии оптической и электронно-ионной литографии: концепции развития. Основы нанолитографии, иммерсионная, голографическая, лазерная литография.

Общая схема литографического процесса

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

В данной теме следует обратить внимание на последовательность операций по подготовке матриалов, особенности обслуживания установок эпитаксии, на технику безопасности при работе с материалами. Важно составить базу данных на последовательность операций. Следует помнить, что каждая операция должна быть математически описана и обоснованы затраты энергии, материалов и трудовых ресурсов на ее проведение.

#### **3.3 Вопросы для самопроверки**

1. Назовите виды литографий и их разрешающие возможности.
2. Охарактеризуйте позитивные и негативные фоторезисты.
3. Приведите типовой фотолитографический процесс.
4. Опишите методы нанесения фоторезиста, их достоинства и недостатки.
5. Охарактеризуйте методы совмещения изображений.
6. Как проводится перенос изображения в топологические слои?
7. Приведите критерии выбора фотошаблонов.
8. Назовите методы мультипликации и репродуцирования.
9. Поясните принцип работы фотоповторителя.
10. Охарактеризуйте методы травления фоторезиста.
11. Сравните изотропность и селективность методов вакуумно-плазменного травления фоторезиста.
12. Сравните высокочастотное, радикальное, ионно-лучевое, ионно-плазменное травление материалов для литографии.
13. Опишите основные системы установок плазмохимического удаления фоторезиста.
14. Опишите механизмы ионного травления фоторезиста.
15. Сравните достоинства и недостатки рентгенолитографии.
16. Приведите принципиальные схемы реализации параллельной и

сканирующей электролитографии.

17. В чем преимущества электроннорезистов?
18. Какие ограничения электроннолитографии?
19. Какие отличия режимов реализации ионолитографии?
20. Какие особенности безрезистивной лазерной литографии?
21. Каким образом реализуется обратная электронная литография?
22. Вакуумная гигиена в литографии.
23. Нанолитография
24. Применение литографии при формировании окон в пленках
25. Общая схема литографического процесса
26. Фоторезисты и требования к ним
27. Методы формирования топологических слоев через фотошаблон
28. Критерии оптимизации условий при выборе фотошаблона
29. Методы определения параметров травления

## **Раздел 4 Формирование периодических наноструктур в диэлектрических и полупроводниковых средах с различной размерностью.**

### **4.1 Содержание раздела**

Техника и технология формирования периодических наноструктур в диэлектрических и полупроводниковых средах с различной размерностью. Технология легирования и имплантации примесей. Кинетика синтеза нанослоев. Диффузионные и сорбционные явления при формировании наноструктур.

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

При изучении темы следует обратить внимание на достоинства и недостатки различных методов формирования нанослоев в вакууме. Термическое испарение материалов в вакууме. Магнетронное формирование покрытий. Электродуговые методы формирования пленок. Электронно-лучевые методы формирования пленок. Формирование пленок с помощью ионных источников

### **4.3 Вопросы для самопроверки**

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. Как получить пленки равномерной толщины?
6. Каковы особенности испарения сублиматоров?
7. В чем преимущество пленок, полученных лазерным испарением?
8. Опишите условия улучшения чистоты и стехиометрии пленок.



9. Как получить пленки без газовых включений?
10. Назовите способы уменьшения загрязнений в пленках.
11. Каковы особенности геттерного распыления пленок?
12. Опишите принципы работы аппаратуры для контроля скорости и толщины нанесения пленок.
13. Охарактеризуйте достоинства и недостатки ионного осаждения пленок.
14. Назовите факторы, влияющие на скорость осаждения пленок.
15. Сравните диодные, триодные и тетродные системы для распыления материалов.
16. Приведите схему магнетронного формирования пленок.
17. Сравните различные системы для формирования пленок и особенности их применения.
18. Как оценить адгезию пленок?
19. Каковы приемы повышения адгезии пленок?
20. Охарактеризуйте сегрегатный состав пленок.
21. Поясните влияние теплового режима подложки на зародышеобразование.
22. Для чего проводится напыление с подслоем?
23. Зачем необходимы отжиг и вжигание пленок?
24. Перечислите некоторые установки для напыления пленок
25. Приведите алгоритм расчета параметров напыления.
26. Объясните порядок измерения поверхностного сопротивления пленок.
27. Приведите способы получения диэлектрических и защитных пленок.
28. Каковы методы ускорения окисления?
29. Как проводится окисление в тлеющем разряде.
30. Поясните методы измерения толщины прозрачных окисных пленок.
31. Кинетика термического испарения материалов в вакууме
32. Физико-химические процессы кинетики конденсации пленок
33. Кинетика формирования пленок на подложке
34. Поверхностные явления на подложке
35. Диффузионные явления при формировании наноструктур
36. Механизмы поверхностной и объемной диффузии.
37. Фазовая диаграмма и диаграмма изобарного потенциала
38. Модели роста кристаллов при эпитаксии
39. Приемы расшифровки кинетики роста нанокристаллов

## **5 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. 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 ней 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. Спектрометрия газовой выделенной из кристаллов
2. Молекулярная эпитаксия
3. Исследование процесса ионно-плазменного распыления материалов
4. Исследование процесса электронно-лучевой обработки материалов в безмасляном вакууме.

В отчете по лабораторным работам приведены вопросы по контролю освоения компетенций.

## **6 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. Темы практических занятий приведены ниже:

### **Раздел 1. Введение. Основные определения и физические основы нанотехнологий фотоники.**

Занятие 1. Безмасляные вакуумные системы для эпитаксии и их расчет.

### **Раздел 2. Эпитаксия, нанесение металлов и диэлектриков.**

Занятие 1. Расчет параметров формирования нанослоев (скорости, толщины, массопереноса).

Занятие 2. Разработка алгоритма работы эпитаксиального вакуумного оборудования.

Занятие 3. Расчет параметров газофазных реакций, расчет сорбционных и диффузионных процессов.

Занятие 4. Расчет электрофизических параметров оборудования для формирования и обработки нанослоев.

**Раздел 3. Методы оптической литографии. Современные технологии оптической литографии: концепции развития, основы нанолитографии, иммерсионная литография, голографическая литография**

Занятие 1. Решение задач по литографии.

**Раздел 4. Формирование периодических наноструктур в диэлектрических и полупроводниковых средах с различной размерностью**

Занятие 1. Разработка маршрутной карты для формирования покрытий в вакууме.

Занятие 2. Разработка операционных карт.

Занятие 3. Расчет параметров технологичности процесса формирования нанослоев.

Занятие 4. Обсуждение индивидуальных заданий.

**Конференция по защите индивидуальных заданий.**

**7 Темы для самостоятельного изучения разделов**

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. Отчетность по разделам включается в индивидуальном задании. В таблице приведено содержание разделов для самостоятельного изучения.

## Содержание тем для самостоятельного изучения

№	Раздел	Темы для проработки
1	Физические основы нанотехнологий	Адсорбция, абсорбция, хемосорбция, десорбция. Расчет безмасляных вакуумных систем. Программное управление оборудованием.
2	Эпитаксия. Нанесение металлов и диэлектриков	Условия проведения эпитаксий. Подготовка подложек для эпитаксии. Вакуумная гигиена. Легирование при эпитаксии
3	Методы оптической литографии. Современные технологии оптической литографии: концепции развития, основы нанолитографии, иммерсионная литография, голографическая литография	Виды прецизионных литографий. Фотошаблоны. Прецизионное ионное травление. Эллипсометрия в контроле поверхности подложек.
4	Формирование периодических наноструктур в диэлектрических и полупроводниковых средах с различной размерностью	Модели роста кристалла. Процесс расшифровки кинетики роста квантовых точек и сверхрешеток при молекулярной эпитаксии
	Индивидуальное задание	Разработать конкретный технологический процесс нанотехнологий

### Методические указания по изучению тем для самостоятельной проработки материала

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

## Тесты для проработки лекционного материала

### Раздел 1. Физические основы нанотехнологий

1. Квантовая яма это: 1 - структура с размером несколько межатомных расстояний в одном направлении, 2- это углубление в пленке под микроскопом, 3- квантование размера углубления

2. Квантовая точка это: 1-структура с размерами несколько межатомных расстояний по всем направлениям, 2- это структуры, содержащие не более 100 атомов, 3- структуры в виде вкраплений углеводородов

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

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

5. Какое назначение системы фильтрации воздуха в турбомолекулярном насосе. 1- фильтровать газ от твердых примесей, 2- это режим газового торможения турбины, 3- это газобалластное устройство

### Раздел 2. Эпитаксия. Нанесение металлов и диэлектриков

1. Эпитаксиальные пленки – это пленки имеющие 1 – сопротивление больше 20 Ом/□, 2 – меньше 20 Ом/□, 3 – около 100 Ом/□ ,

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

5. 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

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

Раздел 3. Методы оптической литографии. Современные технологии оптической литографии: концепции развития, основы нанолитографии, иммерсионная литография, голографическая литография

1. Литография – это процесс изготовления микросхем с применением фотографических методов, 2- это операция полировки, 3- это вариант шелкографии

2. Ионолитография это: прецезионная литография с применением ионного потока, 2 - это система для легирования, 3- процесс, заменяющий фотолитографию при изготовлении товаров народного потребления

Раздел 4. Формирование периодических наноструктур в диэлектрических и полупроводниковых средах с различной размерностью

1. Какой темп нагрева кристалла наиболее предпочтителен перед формированием на нем пленки: 1-2К/с, 2- 5 К/с, 3 - 10 К/с.

2. 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.

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

4. 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

5. 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

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

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

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

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



## **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 общепрофессиональных 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.

### **Тематика индивидуальных заданий**

Задание обобщает теоретический материал и предполагает творчество в разработке технологии производства прибора оптической электроники и фотоники.

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. Как показывает опыт, именно на этом этапе происходит основная бездарная потеря времени студентом.

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. Формирование покрытий с конкретными функциональными свойствами на конкретном кристалле.
2. Нанесение оптических покрытий на конкретные изделия; материалы подложек: кристалл, полиэтиленовой пленка, лавсан, винипроз, стекло, керамика и т.д.
3. Ионная обработка конкретных материалов (травление, очистка, полировка).

4. Модификация поверхности под действием ионного или электронного воздействия.
5. Разработка программных продуктов и отработка технологии программирования при проведении технологических процессов.
6. Процесс изготовления оптического волновода на ниобате лития.
7. Процесс изготовления волновода на стеклах.
8. Технология формирования окисной пленки титана на танталате висмута, ниобате лития или на стекле.
9. Процесс легирования и диффузии элементов (железо, медь, свинец, церий и др.) в ниобат лития
10. Технология ионного легирования или ионной имплантации в пьезокристаллы.
11. Процесс формирования зеркальных покрытий с внешним отражающим слоем.
12. Разработать процесс синтеза фуллеренов
13. Разработать процесс формирования просветляющего покрытия ( $\text{Cu/MgF}_2/\text{LiNbO}_3$ )
14. Разработать процесс синтеза нанослоя Рb для оптического волновода на стекле
15. Разработать процесс синтеза нанослоя окиси цинка для оптического волновода
16. Разработать процесс ионного травления нанослоя  $\text{MgF}_2$
17. Разработать процесс легирования поверхности ниобата лития железом
18. Разработать процесс изготовления диффузионного волновода на окиси титана
19. Разработать процесс получения эпитаксиальных пленок алюминия
20. Разработать процесс получения эпитаксиальных пленок арсенида галия

### **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 задание 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. 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, наличия расчета электрофизических параметров, расчета одного из параметров процесса, наличия последовательности технологических операций, наличия экспериментальной и конструкторской части.

### **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.

### **Интерактивные занятия – конференции**

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 свой конкретный вклад в решение задачи.

### **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 оценок за самостоятельное задание**

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 внутривузовских студенческих работ.

При несогласии студента с оценкой назначается комиссия.

## **Требования к структурным элементам расчетно-пояснительной записки**

### **Общие требования**

Расчетно-пояснительная записка 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.). В приложениях А, Б, В, Г приведены образцы заполнения некоторых документов

### **Титульный лист**

Образец заполнения титульного листа приведен в приложении.

### **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, уровню конструкторской проработки, наличию публикаций.

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

Образец реферата приведен в приложении.

### **Задание**

1. В каждой работе должна быть разработана тема в соответствии с заданием, утвержденным заведующим кафедрой.

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.

### **Содержание**

1. Содержание должно отражать все материалы, представляемые к защите работы.
2. Слово "Содержание" записывают в виде заголовка, симметрично тексту, с прописной буквы.
3. В содержании перечисляют заголовки разделов, подразделов, список литературы, каждое приложение и указывают номера листов (страниц), на которых они начинаются.

### **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.

### **1 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. Выявленное или вновь созданное техническое решение разрабатывается сначала в объеме эскизного, а затем технического задания.

### **2 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.

### 3 Расчетная часть

#### 3.1 Расчет вакуумной системы

Расчет вакуумной системы заключается в определении производительности откачных средств, необходимых для проведения процесса. Начинать расчет следует с рисунка схемы вакуумной системы. Обычно объем рабочей камеры составляет от 0,1 до 3 м<sup>3</sup>. Чаще устройства для обработки материалов содержат источник частиц на основе вакуумной дуги, магнетрона или источник паров металлов на основе термического испарения в вакууме. Все эти устройства чаще работают при давлениях 10<sup>-2</sup>Па.

Суммарный поток газовой выделения складывается из газовой выделения стенок камеры, газовой выделения из изделий, газовой выделения из различных вводов в камеру и потока напускаемого рабочего газа.

Поток газовой выделения с поверхности камеры  $Q$  определяется произведением площади поверхности  $A$  на коэффициент удельного газовой выделения  $g$  и коэффициент поверхности  $\Omega$ :

$$Q = Ag\Omega . \quad (1.8)$$

Величины удельного газовой выделения приводятся в соответствующей справочной литературе (для стекла и керамики  $g=10^{-4}$ Па м<sup>3</sup>/с с 1м<sup>2</sup>). Коэффициент поверхности зависит от качества механической обработки материала (для стали достигает 10).

В вакуумной камере всегда имеется более десятка вводов: для датчиков, для термопар, для ввода напряжения и т.д. Поток натекания через такие элементы  $Q$  определяется произведением чувствительности течеискателя  $\kappa = 10^{-6}$  на их число  $N$ .

$$Q = \kappa N . \quad (1.9)$$

Таким образом, суммарный поток газов в вакуумной камере определится выражением:

$$\sum Q = (Ag\Omega)_k + (Ag\Omega)_u + \kappa N + Q_{\text{нап}} , \quad (1.10)$$

где первое слагаемое относится к камере, второе к детали, третье к течеискателю, четвертое к потоку напускаемого газа. Обычно напускаемый поток составляет 30 – 80 см<sup>3</sup> атм/час. Поскольку заводы выпускают оборудование с производительностью в литрах в секунду, то выбранную величину напуска газа следует умножить на переводной коэффициент  $2,4 \times 10^{-4}$ , т.е

$$Q_{\text{нап}} = (30-80) \cdot 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ тор л/с.}$$

Необходимая скорость откачки высоковакуумного насоса определится отношением суммарного потока в вакуумной камере  $Q$  к рабочему давлению  $P_{\text{раб}}$ , при котором проводится технологический процесс.

$$S_n = \sum Q / P_{\text{раб}} . \quad (1.11)$$

Скорость откачки форвакуумного насоса определяется как отношение газового потока на выходе диффузионного насоса  $Q$  к выходному давлению диффузионного насоса ( $P_{\text{вых}}$ ).

$$S_{\phi} = \sum Q / P_{\text{вых}} . \quad (1.12)$$

В большинстве диффузионных насосов выходное давление составляет  $P_{\text{вых}} = 10 \text{ Па}$  (0,1 мм рт ст). Следует выбрать тот механический насос, который обеспечивает требуемую скорость откачки при давлении 10 Па.

Из основного уравнения вакуумной техники следует, что скорость откачки объекта  $S_o$  всегда меньше скорости откачки насоса  $S_n$ . При проектировании систем, если проводимость коммуникаций неизвестна, выбирают скорость насоса с коэффициентом запаса  $\gamma$ :

$$S_n = \gamma S_o , \quad (1.13)$$

где  $\gamma = 1,25$  для форвакуумных насосов;  $\gamma = 2,00$  для высоковакуумных насосов.

Время откачки объекта определяется выражением:

$$t = \frac{V \cdot V'}{S_o} \ln \frac{P_1 - \sum Q / S_o}{P_2 - \sum Q / S_n} , \quad (1.14)$$

где  $V$  – объем, откачиваемого объекта;

$V' = 10^3$  – приведенный объем;

$P_1, P_2$  – начальное и конечное давление.

В расчетах времени откачки в диапазоне давлений, когда существенно возрастают газовыделения (от 10 до 0,01 Па и менее) необходимо учитывать приведенный объем  $V'$ , увеличенный



пропорционально уменьшению давления. (Например, обеспечение рабочего вакуума от 10 до 0,01 Па соответствует, уменьшению давления на три порядка). Соответственно, приведенный объем составит величину  $V' = 10^3$ .

### 3.2 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.

В заключении электрофизической части приводятся отличительные особенности и преимущества устройства перед известными устройствами. Студент должен ответить на вопрос: какую конкретно новую физическую или математическую модель он исследовал; какие допущения проводил. Сравнение следует производить по материалам патентов, описаний авторских свидетельств и периодической печати.

#### 4 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.

На рисунке 4.1 представлена общая схема формирования пленки для волновода (маршрутная карта)

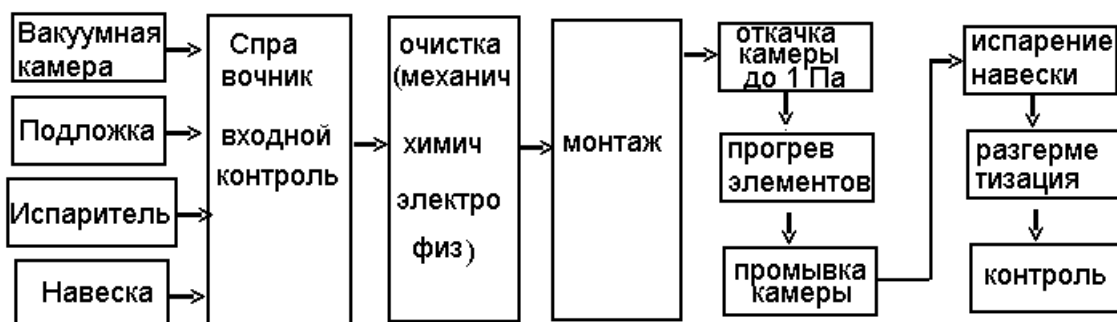


Рисунок 4.1 - Общая схема формирования пленки для волновода (маршрутная карта)

В таблице 4.1 представлена «операционная карта» подготовки цинка для формирования пленки

Таблица 4.1 - Операционная карта подготовки цинка

№	Операция	Средства	марка	примеч
1	Выбор марки цинка	справочник	технический	
2	Раскрой	кусачки	Слесарные	
3	Очистка	механич	Нож	
4	Анализ чистоты	Микроскоп	МБС-10	
5	Переплавка при 760 ммрт ст	тигель		
6	Заправка в тигель	3 гр	весы	

В таблице 4.2 представлена «операционная карта» термической полировки стекла для волновода

Таблица 4.2 - Операционная карта термической полировки стекла

1	Выбор марки стекла	справочник	С 8-93	
2	Раскрой	стеклорез		
3	Боковая разметка	наждак		
4	Очистка	Ткань, ацетон	пинцет	
5	Анализ чистоты	Микроскоп	МИМ 7	
6	Укладка на фланец	нерж		
7	Нагрев 5град/мин	Выдержка 5 часов	Печь СУОЛ	
8	Остывание в печи			

Технологические инструкции составляют при разработке новых, оригинальных операций или при модернизации оборудования, требующей изменения последовательности переходов, приемов их выполнения и т.д.

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

### **5 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.

### **6 Конструкторская часть**

В этом разделе должны найти обоснование все принятые конструктивные решения и размеры устройств. 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 (наличие инструментального каталога). 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 их лекционного материала или лабораторного практикума.

Первоначально, следует сделать вывод о достоинствах и недостатках известных устройств применительно к рассматриваемому технологическому 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.

Следующим этапом проводится проработка конструкции с учетом конкретных условий работы, тепловой и механической прочности, стойкости элементов к агрессивным газам. 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

Основные технологические требования таковы:

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

2) 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;

3) допуски на размеры деталей и элементов приборов нужно строго обосновывать, так как ужесточение допусков резко повышает стоимость применяемых материалов, инструмента, оборудования, а следовательно, и себестоимость изделия.

В расчетно-пояснительной записке описывается принцип действия прибора, показывается влияние на выходные характеристики прибора таких технологических параметров, как погрешности размеров элементов и их взаимного расположения, чистота используемых материалов и др.

### **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**

1 Ковалев В.В. Технический анализ: управление процессом, выбор инвестиций, анализ возможностей. – М.: Энергия, 2012. - 430 с.

2 ГОСТ 28388-89 Система обработки информации. Документы на магнитных носителях данных. Порядок выполнения и обращения. Из-во стандартов, 2010, 300 с

## **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. Системы пневмоавтоматики для управления процессами
14. Знать методы изоляции элементов интегральных микросхем. Знать порядок размещения элементов микросхем на подложке.
15. 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 проектировать маршрутные и операционные карты
4. Сравнить 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 документов на технологичность
4. Техникой и технологией получения 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  
Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3554/>
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. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/1550/>
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. - ISBN 5-86889-244-
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. - ISBN 5-8114-0503-0 Экз - 2
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. - ISBN 5-06-001480-0.
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., табл.
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., табл. Экз 51
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 2012 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 2012 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 2012 г.г.

12. Электроника: Реферативный журнал. - М. : ВИНТИ. - С 1998 г. на CD-ROM. - ISSN 0206-5452 с 2008 по 2012 г.г.

13. Орликов Л.Н. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики: Методические указания к практическим занятиям – Томск: ТУСУР, 2012. – 24 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

14. Орликов Л.Н. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики: Методические указания к лабораторным работам – Томск: ТУСУР, 2012. – 75 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>



ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра ЭП

**НАЗВАНИЕ**

Индивидуальное задание к самостоятельной работе по дисциплине

Студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Т.В. Маслова  
\_\_\_\_\_ 20 г.

Руководитель  
к.т.н., доц. каф. ЭП ТУСУР  
\_\_\_\_\_ М.А. Петров  
\_\_\_\_\_ 20 г.

2019

## Реферат

Индивидуальное 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:**

Уровень математического аппарата – арифметический (3 балла)

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

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)

Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра электронных приборов

### ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики

---

студенту \_\_\_\_\_  
 Фамилия, имя, отчество (полностью) \_\_\_\_\_  
 группа \_\_\_\_\_ Факультета электронной техники

1. Тема задания: \_\_\_\_\_  
 2. Срок сдачи студентом законченного задания \_\_\_\_\_  
 3. Исходные данные к заданию \_\_\_\_\_ объем рабочей камеры \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>  
 рабочее давление 10-2 Па; рабочий газ аргон (азот) \_\_\_\_\_  
 вакуумная система масляная (безмасляная); площадь подложек 0,25 м<sup>2</sup> \_\_\_\_\_  
 время проведения процесса не более 40 минут \_\_\_\_\_

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов вопросов):  
 Заполняется согласно содержанию \_\_\_\_\_  
 Приложение: программа конкретного процесса на С++(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, \_\_\_\_\_

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Физические основы нанотехнологий фотоники  
и оптоинформатики

Методические указания по самостоятельной работе

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