

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

Кафедра электронных приборов

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ФОТОНИКИ**

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

2012

## **Орликов Леонид Николаевич.**

Технология приборов оптической электроники и фотоники: Методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 33 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 «Технология приборов оптической электроники и фотоники».

© Орликов Леонид Николаевич, 2012

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

Кафедра электронных приборов

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

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ФОТОНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

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

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

## Содержание

Введение.....	6
Раздел 1. Введение. Подготовка к проведению технологического процесса	6
1.1 Содержание раздела .....	6
1.2 Методические указания по изучению раздела .....	6
1.3 Вопросы для самопроверки .....	7
Раздел 2. Технологичность изготовления приборов оптической электроники и фотоники .....	7
2.1 Содержание раздела .....	7
2.2 Методические указания по изучению раздела .....	7
2.3 Вопросы для самопроверки .....	8
Раздел 3. Технология получения высокого вакуума в производстве приборов оптической электроники и фотоники .....	8
3.1 Содержание раздела .....	8
3.2 Методические указания по изучению раздела .....	8
3.3 Вопросы для самопроверки .....	8
Раздел 4. Межфазные взаимодействия в технологии формирования приборов оптической электроники и фотоники .....	9
4.1 Содержание раздела .....	9
4.2 Методические указания по изучению раздела .....	9
4.3 Вопросы для самопроверки .....	9
Раздел 5. Технология подготовки поверхности оптических материалов к технологическим процессам (очистка) .....	10
5.1 Содержание раздела .....	10
5.2 Методические указания по изучению раздела .....	10
5.3 Вопросы для самопроверки .....	10
Раздел 6. Методы формирования нанослоев для приборов оптической электроники и фотоники .....	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 оптической электроники и фотоники.....	12
7.1 Содержание раздела .....	12
7.2 Методические указания по изучению раздела .....	12
7.3 Вопросы для самопроверки.....	13
Раздел 8. Основы технологии изготовления приборов оптической электроники и фотоники .....	13
8.1 Содержание раздела .....	13
Технология приборов квантовой электроники. Технология изготовления квантового транзистора. Технология одноэлектронных квантовых приборов. ....	13
8.2 Методические указания по изучению раздела .....	13

8.3 Вопросы для самопроверки .....	14
9 Тесты для проработки лекционного материала .....	15
10 Лабораторные работы .....	18
11 Темы для самостоятельного изучения разделов .....	21
13 Индивидуальные задания для самостоятельной работы.....	21
Заключение .....	25
Рекомендуемая литература .....	26
Приложение А .....	28
Приложение Б .....	29
Приложение В.....	30
Приложение Г .....	31
Приложение Д.....	32

## **Введение**

*Целью самостоятельной работы* в дисциплине «Технология приборов оптической электроники и фотоники» 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.

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 технологий производства приборов оптической электроники 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.

## **Раздел 1. Введение. Подготовка к проведению технологического процесса**

### **1.1 Содержание раздела**

Введение. Эффекты, реализуемые в оптической электронике и фотонике. Получение материалов для приборов оптической электроники и фотоники.

Типовой технологический процесс. Подобие технологических процессов. Уровни математического описания процесса

Законы регулирования параметров процесса: П, ПИ, ПИД. Групповые измерительные преобразователи ПСВД, ПСТП, ПСИД, ПСТР. Пневматические устройства управления процессами.

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

В теме «Подготовка к проведению технологического процесса» обращается внимание на моделирование процесса. Важно составить

последовательность технологических операций. Следует обратить внимание на справочные данные материалов, марки, состав. Важно: проанализировать режимы и рабочие среды для проведения технологических операций; провести обзор литературы по проведению предполагаемого процесса; знать законы изменения параметров процессов: П, ПИ, ПИД и преобразователи сигналов о технологическом процессе ПСВД, ПСТП, ПСИД, ПСТР.

### **1.3 Вопросы для самопроверки**

1. Какие специфические требования предъявляются к материалам оптической электроники?
2. Какой процесс называется типовым?
3. Назовите критерии подобия технологических процессов
4. Почему в качестве рабочей среды часто используют инертный газ аргон?
5. Какое назначение подсистем «технолог» для сопровождения технологических процессов?
6. Что такое унификация технологических операций?
7. Как составляется последовательность технологических операций?
8. Как проводится кодировка технологических операций?
9. Какое назначение входного контроля для проведения технологических операций?
10. Как изображаются данные о материалах и режимах в последовательности технологических операций?

## **Раздел 2. Технологичность изготовления приборов оптической электроники и фотоники**

### **2.1 Содержание раздела**

Технологичность процессов изготовления приборов оптической электроники и фотоники. Методы оценки параметров технологичности. Языки пользователя для программирования технологических процессов. Язык релейно-контактных символов. Языки типа КАУТ, Время-команда, время-параметр, SCPI., языки для программирования логических контроллеров.

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

При изучении темы «Технологичность изготовления приборов оптической электроники и фотоники» следует обратить внимание на построение последовательностей изготовления изделий с учетом аналогов, стандартов, допусков и квалитетов. Особое внимание следует уделить возможности изготовления прибора с помощью типового оборудования.

Важно иметь представление о языках пользователей для программирования технологий.

### **2.3 Вопросы для самопроверки**

1. Назовите показатели технологичности.
2. Приведите методы анализа на технологичность.
3. Назовите приемы улучшения технологичности.
4. Как проводится моделирование технологических процессов?
5. Назовите основные команды языка КАУТ?
6. Как проводится оптимизация технологических процессов на языках КАУТ?
7. Основные команды языка STPI
8. По каким критериям оценивается чертеж на технологичность изготовления конструкции?
9. Чем отличается чертеж схемы изделия от чертежа конструкции изделия?
10. Что понимается под квалитетами, допусками, посадками?

## **Раздел 3. Технология получения высокого вакуума в производстве приборов оптической электроники и фотоники**

### **3.1 Содержание раздела**

Технологические вакуумные системы и установки. Расчет вакуумных систем. Измерение парциальных давлений. Алгоритм включения и выключения типовых вакуумных установок с масляными средствами откачки. Практические рекомендации по поиску негерметичности вакуумных систем.

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

При изучении темы следует обратить внимание на спектры остаточных газов при “масляной” и “безмасляной” откачке, на методы уменьшения углеводородов в вакуумной системе. Что касается измерения вакуума следует обратить внимание на диапазон работы датчиков и какие физические явления положены в основу измерений. В масс-спектрометрии важно уяснить принцип работы прибора для регистрации массы.

### **3.3 Вопросы для самопроверки**

1. Запишите основное уравнение вакуумной техники.
2. Приведите алгоритм расчета вакуумной системы.
3. Опишите принципы работы вакуумных насосов.
4. Объясните причины предельных возможностей откачных средств по давлению.

5. Перечислите марки масел для вакуум-насосов и требования к ним.
6. Приведите алгоритм включения и выключения вакуумных установок.
7. Приведите схемы безмасляных форвакуумных насосов
8. Запишите алгоритм запуска и остановки установок с диффузионными насосами.
9. Охарактеризуйте новейшие масла для диффузионных насосов.
10. Опишите аварийные ситуации при работе диффузионных насосов.
11. Назовите приемы уменьшения углеводородов в вакуумных системах
12. Напишите алгоритм запуска электроразрядного насоса.
13. Нарисуйте конструкции манометров для высоких и сверхнизких давлений.
14. Опишите оптические, радиоактивные и тензодатчики давления.
15. Проанализируйте ошибки и погрешности при измерении давления.
16. Охарактеризуйте методы течеискания.
17. Приведите схему устройства спектрометра с магнитной разверткой.
18. Назовите типы вакуумных ловушек и их параметры

## **Раздел 4. Межфазные взаимодействия в технологии формирования приборов оптической электроники и фотоники**

### **4.1 Содержание раздела**

Межфазное равновесие процессов. Теплота, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, свободная энергия. Фазовая диаграмма. Диаграмма изобарного потенциала. Применение теории межфазных взаимодействий при формировании высококачественных пленок

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

Особое внимание при изучении этой темы следует обратить на газофазные реакции, возникающие при формировании пленок.

### **4.3 Вопросы для самопроверки**

1. Приведите диаграмму фазового равновесия жидкой, паровой и твердой фазы
2. Поясните диаграмму Рауля для сплавов.
3. Понятие энтропии.
4. Какова связь между теплотой и энтропией?
5. Что такое энтальпия?

6. Какова связь энтропии и энтальпии
7. Понятие теплоемкости при постоянном давлении
8. Приведите фрагмент фазовой диаграммы
9. Опишите возможные газофазные реакции при напылении пленок
10. Приведите диаграмму изобарного потенциала

## **Раздел 5. Технология подготовки поверхности оптических материалов к технологическим процессам (очистка)**

### **5.1 Содержание раздела**

Вакуумная гигиена и очистка материалов. Общая схема очистки материалов для приборов оптической электроники и фотоники. Электрофизические методы очистки. Контроль качества очистки. Ионное травление материалов

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

В этой теме обращается внимание на источники загрязнений в технологии, на достоинства и недостатки различных методов очистки.

### **5.3 Вопросы для самопроверки**

1. Каковы источники загрязнений в процессе изготовления приборов?
2. Как проводится очистка вакуумным, окислительным и восстановительным отжигом?
3. Каковы методы обезжиривания и оборудование для его реализации?
4. Сравните очистку стекла, керамики и кристаллов.
5. Приведите общую схему очистки деталей приборов?
6. В чем особенности очистки пластмасс перед очисткой других материалов?
7. Как реализуется технология ионной очистки, ее достоинства, недостатки?
8. Как проводится плазмохимическая очистка материалов?
9. В чем состоят особенности очистки кристаллов?
10. Каковы способы консервации очищенных изделий?
11. Как проводится контроль качества очистки?
12. Каков механизм очистки с помощью деионизованной воды?
13. Как проводится очистка воздуха?
14. Какие преимущества механической очистки материалов резцами?
15. Какие основные правила техники безопасности при очистке?

16. Как проводится очистка полимерными пленками?
17. Какие особенности очистки в тлеющем разряде?
18. Что такое декапирование?
19. Как проводится очистка кристаллов?
20. Как реализуется очистка методом редиффузии?

## **Раздел 6. Методы формирования нанослоев для приборов оптической электроники и фотоники**

### **6.1 Содержание раздела**

Физико-химические процессы получения наноматериалов. Типы пленок и методы их получения Термическое испарение материалов в вакууме. Электронно-лучевой метод формирования пленок. Магнетронное формирование пленок. Электродуговые методы формирования пленок. Формирование пленок с помощью ионных источников. Методы измерения параметров пленок

### **6.2 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 и электронно-лучевые методы формирования пленок, а также на формирование пленок с помощью ионных источников

### **6.3 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. Приведите методику окисления кремния в сухом и влажном кислороде.
29. Каковы методы ускорения окисления?
30. Как проводится окисление в тлеющем разряде.
31. Поясните методы измерения прозрачных окисных пленок.
32. Охарактеризуйте процесс напыления окунанием в паровую фазу.

## **Раздел 7. Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов оптической электроники и фотоники**

### **7.1 Содержание раздела**

Понятие эпитаксии. Технология газофазной и МОС-гидридной эпитаксии. Кинетика молекулярно-лучевой эпитаксии. Методы анализа эпитаксиальных структур.

### **7.2 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.

### 7.3 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. Расскажите, 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 выращивание многослойных эпитаксиальных структур?
11. Как проводится эпитаксия под действием ионных пучков?
12. Поясните особенности использования ЭВМ для эпитаксии.
13. Как проводится маркировка кремниевых эпитаксиальных структур?
14. Охарактеризуйте процесс легирования эпитаксиальных слоев.
15. Как проводится подготовка поверхности под эпитаксию?
16. Методы анализа эпитаксиальных структур (ОЖЕ, ДБЭ, ВИМС)
17. Приведите вакуумную схему установки для молекулярно-лучевой эпитаксии

## Раздел 8. Основы технологии изготовления приборов оптической электроники и фотоники

### 8.1 Содержание раздела

Технология приборов квантовой электроники. Технология изготовления квантового транзистора. Технология одноэлектронных квантовых приборов.

Технология формирования квантового транзистора. Технология формирования светоизлучающих структур

### 8.2 Методические указания по изучению раздела

В данной теме следует обратить внимание на последовательность операций по подготовке арсенида галлия, 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.

### 8.3 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. Проанализируйте процессы, сопутствующие проявлению фоторезиста.
7. Как проводится перенос изображения в топологические слои?
8. Приведите критерии выбора фотошаблонов.
9. Назовите методы мультипликации и репродуцирования.
10. Поясните принцип работы фотоповторителя.
11. Охарактеризуйте методы травления фоторезиста.
12. Сравните изотропность и селективность методов вакуумно-плазменного травления фоторезиста.
13. Сравните высокочастотное, радикальное, ионно-лучевое, ионно-плазменное травление материалов.
14. Опишите основные системы установок плазмохимического удаления фоторезиста.
15. Опишите механизмы ионного травления фоторезиста.
16. Сравните достоинства и недостатки рентгенолитографии.
17. Приведите принципиальные схемы реализации параллельной и сканирующей электролитографии.
18. В чем преимущества электроннорезистов?
19. Какие ограничения электроннолитографии?
20. Какие отличия режимов реализации ионнолитографии?
21. Какие особенности безрезистивной лазерной литографии?
22. Каким образом реализуется обратная электронная литография?
23. Принципиальное устройство установки молекулярно-лучевой эпитаксии.
24. Вакуумная гигиена при выполнении эпитаксии.
25. Управление температурными режимами от ЭВМ.
26. Принципиальное устройство манипулятора подложек.
27. Приведите алгоритм обеспечения вакуума в установке эпитаксии.
28. Проанализируйте температурные особенности роста кристаллов.
29. Теории формирования гетероструктур по Френкелю и по Семенову.
30. Схема расшифровки процесса роста гетероструктур при молекулярно-лучевой эпитаксии.

## 9 Тесты для проработки лекционного материала

### Тема 1. Подготовка к проведению технологического процесса

1. Какой компонент программы общий для языка релейно-контактных символов и языка КАУТ? 1-контролируемые величины, 2-таймер времени, 3- регулируемые величины.

2. В документе указан перечень инструментов, их марка, вид и координаты обработки изделий по диаметру и глубине. Это 1-инструментальный каталог, 2-база данных складского хозяйства, 3-подсистема Технолог.

3. Какое минимальное количество величин должны быть соизмеримыми для подобия одного технологического процесса другому? 1-1, 2-2, 3-3.

4. Вакуумное реле отслеживает поток по уравнению  $S=Q/P$ . Это статическая (1) или динамическая (2) характеристика реле.

5. Интегратор сигнала термопары выдает 5 импульсов на милливольт. Какой закон реализует интегратор? 1-П, 2-ПИ, 3- ПИД

6. Какой закон управления газовым питанием реализуется на мембранном пневмоэлементе 1- П, 2- ПИ, 3- ПИД.

7. Выберите чувствительный элемент системы управления теплотехнического процесса. 1- емкостной датчик, 2- электроконтактный градусник, 3- кварцевый стержень

8. Какой из названных групповых измерительных преобразователей относится к преобразователям для вакуумных датчиков? 1-ПСИД, 2- ПСВД, 3-ПСТП.

10. Сколько команд составляют основу языка релейно-контактных символов? 1-4, 2-3, 3-неограничено

11. Определите пассивный пневмоэлемент системы автоматике. 1- пневмоиндуктивный с нагревом, 2- пневмоемкостной, 3- пневмэлектростатический

12. Печь для отжига кристалла ниобата лития должна поддерживать температуру  $1000^{\circ}\text{C}$ . Учитывая, что перегрев даже на несколько десятков градусов ведет к разложению кристалла, выберите закон выхода печи на режим 1-П. 2-ПИ, 3-ПИД

### Тема 2. Технологичность изготовления приборов оптической электроники и фотоники

1. Показатели технологичности. Это: 1 –металлоемкость, 2– прочность, 3 – эстетичность

2. Измерительное устройство непосредственно воздействует на регулирующий орган. Это регулятор: 1- прямого действия, 2-непрямого, 3- с обратной связью.

3. Изодромное звено-это: 1-регулятор реакции на скорость изменения сигнала, 2- это звено механической связи с объектом, 3- это звено следящей системы.

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

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

### **Тема 3. Технология получения высокого вакуума в производстве приборов оптической электроники и фотоники**

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 4. Межфазные взаимодействия в технологии формирования приборов оптической электроники и фотоники**

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 5. Технология подготовки поверхности оптических материалов к технологическим процессам (очистка)**

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

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

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

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

### **Тема 6. Методы формирования нанослоев для приборов оптической электроники и фотоники**

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. 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

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

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

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

### **Тема 7. Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов оптической электроники и фотоники**

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

### **Тема 8. Основы технологии изготовления приборов оптической электроники и фотоники**

1. 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.

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. 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

## **10 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 нею определенные, часто повторяющиеся операции, и экспериментатору необходимо поупражняться или попрактиковаться в их выполнении. Первые несколько измерений в эксперименте почти всегда менее надежны или менее ценны, чем последние, и обычно удается сэкономить время, если в начальный период работы затратить часть его на то, чтобы найти наилучшие способы проведения измерений и записи результатов;

– проверяется работа отдельных элементов установки аппаратуры;

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

– оцениваются возможные ошибки в различных величинах.

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

Прежде чем, приступить к систематическим измерениям, необходимо убедиться, что Вы знаете, как работает прибор, какая взаимосвязь между отдельными элементами установки, т.е. что чем регулируется. Разобраться в этом вопросе студенту поможет внимательное чтение инструкций, описаний приборов и частных методических указаний.

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

Все записи необходимо датировать и снабжать заголовками.

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

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

Здесь нужно привести:

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

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

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Исследование состава остаточной атмосферы в отпаянном приборе с помощью омега-тронного масс-спектрометра
2. Исследование процесса ионной обработки материалов

## **11 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.

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

## **13 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 общеинженерных 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.

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 антикоррозийных покрытий 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.

В приложении А представлены примерные темы заданий

### **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.

Работу над заданием следует выполнять в следующем порядке и в сроки, указанные в приложении Б, здесь же приведена оценка проведенной работы (проценты даны нарастающим итогом).

### **Проверка и защита задания**

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.

Студент сдает преподавателю законченное 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. Группы для защиты формируются независимо от списочного состава. Число конференций равно числу групп в потоке.

### **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 балла) 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.

### **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) оценить мощность электронного или ионного источника, необходимую для проведения технологических операций;
- 2) рассчитывать вакуумные системы;
- 3) согласовать металлокерамические спаи электронных приборов;
- 4) оценивать достоинства и недостатки лучевых, дуговых, магнетронных и плазменных методов осаждения покрытий;
- 5) изготавливать чертежи соединений и фрагментов вспомогательного оборудования;
- 6) уметь программировать последовательность операций на языках типа “релейно-контактных символов, время-команда, время-параметр, КАУТ”, STPI;
- 7) проводить анализ предельных возможностей оборудования для

проведения конкретных технологических операций;

8) проводить оценку направления газо-фазных реакций при формировании пленок;

9) кодировать технологические циклы, операции, детали и инструменты при автоматизации технологических процессов;

10) моделировать технологический процесс

#### **Студент должен владеть:**

1) методами поиска патентной информации;

2) методами анализа вакуумных систем на герметичность;

3) методами анализа задания 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 Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3554/>

2. Блюменштейн В. Ю., Клепцов А. А. Проектирование технологической оснастки: Учебное пособие. 2 е изд., испр. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 224 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978 5 8114 1099 6 Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/628/>

3. Основы физики плазмы: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. / Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. - СПб.: Издательство "Лань", 2001. - 448 с. ISBN 978-5-8114-1198-6. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/1550/>

4. Рожанский В. А. Теория плазмы: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань». — 2012. — 320 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). Режим доступа <http://e.lanbook.com/view/book/2769/page1/>

5. 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. ISBN 5-86889-244-5 : Экз - 103

#### ***Периодическая литература*** (за последние 5 лет).

Технология машиностроения: обзорно-аналитический, научно-технический и производственный журнал. - М.: Технология машиностроения. - ISSN 1562-322X. -

Компоненты и технологии: научно-технический журнал. - М. :  
Издательство Файнстрит.

Современные технологии автоматизации . - М. : СТА-Пресс. - ISSN  
0206-975X. Выходит ежеквартально (Есть прилож.: эл. опт. диск (CD-  
ROM) - Шифр ЭН 308)

Журналы: “Известия вузов, серия физика”, “Автоматизация и  
современные технологии” и др.

Реферативные журналы: ”Электроника”, “Физика”

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

## 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

Не- деля	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	Конструкторская часть Схема устройства и его спецификация.	
10	Алгоритм проведения процесса и описание работы установки в целом	85
	Оформление пояснительной записки с приложением.	90
	Сдача задания на проверку	100

**Приложение В**

Министерство образования Российской Федерации  
Федеральное образовательное бюджетное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники» (ТУСУР)

Кафедра ЭП

**НАЗВАНИЕ**

Индивидуальное задание к самостоятельной работе по дисциплине

ФЭТ СР. 559.2000.010 ПЗ (№ из кабинета проектирования)

Студент гр. 359/2  
\_\_\_\_\_ Т.В. Маслова  
\_\_\_\_\_ 200 г.

Руководитель  
канд. техн. наук,  
доц. каф. ЭП ТУСУР  
\_\_\_\_\_ М.А. Петров  
\_\_\_\_\_ 200 г.

2012

## Приложение Г

### Реферат

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)

## Приложение Д

Министерство образования Российской Федерации  
Федеральное образовательное бюджетное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники» (ТУСУР)

Кафедра ЭП

### ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

по дисциплине Технология ...

студенту \_\_\_\_\_

Фамилия, имя, отчество (полностью)

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

1. Тема задания: Процесс.....

2. Срок сдачи студентом законченного задания \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г

3. Исходные данные к заданию объем рабочей камеры \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>

рабочее давление 10<sup>-2</sup> 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 глав содержания

Приложение: программа конкретного процесса на С<sup>++</sup>(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)

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Технология приборов оптической электроники и фотоники

Учебно-методическое пособие по самостоятельной работе

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