

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

Кафедра электронных приборов

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ КВАНТОВОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления 210100.68 – Электроника и
наноэлектроника

2012

Орликов Леонид Николаевич.

Специальные вопросы технологии приборов квантовой и оптической электроники: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 210100.68 – Электроника и наноэлектроника / 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. - 24 с.

Целью самостоятельной работы по дисциплине «Специальные вопросы технологии приборов квантовой и оптической электроники» 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.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению 210100.68 - «Электроника и наноэлектроника» по дисциплине «Специальные вопросы технологии приборов квантовой и оптической электроники»

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.

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ
ПРИБОРОВ КВАНТОВОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления 210100.68 – Электроника и наноэлектроника

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

Содержание

Введение.....	5
Тема 1. Процесс получения материалов для приборов квантовой и оптической электроники.....	6
1.1 Содержание раздела.....	6
1.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
1.3 Вопросы для самопроверки	6
Тема 2. Кинетика технологического процесса. Межфазные взаимодействия в технологических процессах	7
2.1 Содержание раздела.....	7
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	7
2.3 Вопросы для самопроверки	7
Тема 3. Вакуумная технология. Электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология.....	7
3.1 Содержание раздела.....	7
3.2 Методические указания.....	8
3.3 Вопросы для самопроверки	9
Тема 4. Специальные вопросы технологии изготовления приборов и устройств квантовой и оптической электроники.....	10
4.1 Содержание раздела.....	10
4.2 Методические указания.....	10
4.3 Вопросы для самопроверки	10
Тема 5. Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов квантовой и оптической электроники.....	11
5.1 Содержание раздела.....	11
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	11
5.3 Вопросы для самопроверки	11
Тема 6. Сервисное обслуживание установок эпитаксии	11
6.1 Содержание раздела. Правила устройства электроустановок.	11
6.2 Методические указания по изучению раздела.....	12
6.3 Вопросы для самопроверки	12
7 Лабораторные работы.....	12
8. Практические занятия.....	16
9. Темы для самостоятельного изучения разделов.....	17
Методические указания по изучению тем для самостоятельной проработки материала.....	18
Темы индивидуальных заданий.....	19
11 Тесты на освоение компетенций	20
Рекомендуемая литература	22

Введение

Целью самостоятельной работы по дисциплине «Специальные вопросы технологии приборов квантовой и оптической электроники» 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 и квантовой электроники. 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 перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведены темы индивидуальных самостоятельных работ.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способность к самостоятельному обучению новых методов исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);

– способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК-4);

– способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований (ПК-9);

– способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями (ПК-10);

– способность владеть методами проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства (ПК-12);

– способность разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники (ПК-13);

– готовность обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов (ПК-14);

– готовность осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и системы электронной техники на этапах проектирования и производства (ПК-15);

– готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-16).

Тема 1. Процесс получения материалов для приборов квантовой и оптической электроники

1.1 Содержание раздела

Введение. Понятие наноструктур. Квантовые ямы, квантовые точки, нановолокна, нанопроволоки. Фуллерены. Процесс получения одноэлектронного квантового транзистора. Безмасляные вакуумные системы для роста квантоворазмерных наноструктур и их расчет.

Формирование компетенций: ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14

1.2 Методические указания по изучению раздела

В теме следует обратить внимание на справочные данные материалов, марки, состав. Важно проанализировать режимы и рабочие среды для проведения технологических операций. Особое внимание следует уделить методике расчета вакуумных систем, обеспечивающих спектр газовой среды для формирования элементов приборов квантовой и оптической электроники.

1.3 Вопросы для самопроверки (компетенции: ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14)

1. Какие специфические требования предъявляются к материалам квантовой и оптической электроники?
2. Квантовая точка, параметры и методы получения
3. Квантовые ямы, параметры и методы получения
4. Нанотрубки и устройства на их основе
5. Фуллерены, свойства и методы их получения
6. Схемы безмасляных вакуумных систем для нанотехнологий
7. Процесс получения одноэлектронного квантового транзистора

8. Почему в качестве рабочей среды в нанотехнологиях редко используют инертный газ аргон?

9. Приведите алгоритм расчета безмасляных вакуумных систем для нанотехнологий

10. Методы получения кристаллических пленок

Тема 2. Кинетика технологического процесса. Межфазные взаимодействия в технологических процессах

2.1 Содержание раздела

Кинетика синтеза нанослоев. Формирование периодических наноструктур в диэлектрических и полупроводниковых средах с различной размерностью. Диффузионные явления при формировании наноструктур

Формирование компетенций: ПК-9, ПК-13, ПК-14, ПК-16

2.2 Методические указания по изучению раздела

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

2.3 Вопросы для самопроверки (компетенции: ПК-9, ПК-13, ПК-14, ПК-16)

1. Приведите диаграмму фазового равновесия жидкой, паровой и твердой фазы

2. Поясните диаграмму Рауля для сплавов

3. Объясните диаграмму равновесия

4. Понятие энтропии

5. Какова связь между теплотой и энтропией?

6. Что такое энтальпия?

7. Какова связь энтропии и энтальпии

8. Приведите фрагмент фазовой диаграммы

9. Опишите возможные газофазные реакции при напылении пленок

10. Приведите диаграмму изобарного потенциала

Тема 3. Вакуумная технология. Электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология

3.1 Содержание раздела

Корректирующие вакуумные расчеты. Общие принципы построения электронно-ионных и плазменных источников. Расчет электрофизических параметров технологических процессов

Формирование компетенций: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14

3.2 Методические указания

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 термокатада 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.

Некоторые соотношения для расчета электрофизических параметров приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

	Параметр	Формула
1	Скорость электрона или иона в электрическом поле в вакууме	$V_e = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$
2	Электронная температура (T_e)	$\frac{3}{2} kT_e = eU_i$
3	Плотность электрического тока	$J=I/S$
4	Плотность эмиссионного тока	$J=I/S_0$
5	Напряженность поля	$E=U/d$
6	Концентрация плазмы	$J=en_e V_e$
7	Пробег молекулы газа ($\lambda_{газ}$)	$(\lambda_{газ})=5 \cdot 10^{-5}/P$
8	Пробег иона	$\lambda_i = \sqrt{2} \lambda_{газ}$
9	Пробег электрона	$\lambda_e = 4 \sqrt{2} \lambda_{газ}$
10	Дебаевский радиус	$r = 5 \sqrt{\frac{T_e}{n}}$ см
11	Напряжение пробоя (В=300, А=15, d=4 см)	$U = \frac{Bpd}{\ln[Apd / \ln(1/\gamma)]}$
12	Диаметр электронного пучка	$d = (I/U)^{3/8}$

3.3 Вопросы для самопроверки (компетенции: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14)

1. Какие особенности обработки диэлектриков электронными и ионными пучками?
2. Как строится программное управление в размерной обработке?
3. Обоснуйте режимы электронно-лучевой сварки
4. Как производится травление кристаллов?
5. По каким критериям производится выбор технологических электронных пушек?
6. Как производится предсварочная обработка материалов?
7. Каким образом реализуется снятие напряжений после сварки?
8. Как рассчитываются параметры ионного травления?
9. Сравните электронно-лучевую и плазменную сварку?
10. Как проводится расчет параметров электронной пушки?

Тема 4. Специальные вопросы технологии изготовления приборов и устройств квантовой и оптической электроники

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

Формирование компетенций: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14

4.2 Методические указания

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 (компетенции: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14)

1. Каковы особенности безтигельного испарения пленок?
2. Как получить пленки равномерной толщины?
3. Опишите условия улучшения чистоты и стехиометрии пленок.
4. Опишите принципы работы аппаратуры для контроля скорости и толщины нанесения пленок.
5. Охарактеризуйте достоинства и недостатки ионного осаждения пленок.
6. Назовите факторы, влияющие на скорость осаждения пленок
7. Сравните диодные, триодные и тетродные системы для распыления материалов.
8. Сравните различные системы для формирования пленок и особенности их применения
9. Каковы приемы повышения адгезии пленок?
10. Охарактеризуйте сегрегатный состав пленок.
11. Приведите алгоритм расчета параметров напыления.
12. Как проводится окисление в тлеющем разряде.
13. Поясните методы измерения прозрачных окисных пленок.

Тема 5. Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов квантовой и оптической электроники

5.1 Содержание раздела

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

Формирование компетенций: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14

5.2 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.

5.3 Вопросы для самопроверки (компетенции: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14)

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

Тема 6. Сервисное обслуживание установок эпитаксии

6.1 Содержание раздела. Правила устройства электроустановок.

Алгоритмы включения и выключения установок. Сервисное

обслуживание установок эпитахии. Электротехнический сервис. Сервис систем обеспечения служебных характеристик.

Формирование компетенций: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14

6.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе следует обратить внимание на описание сервисного обслуживания установок из соответствующей литературы, а также на описание методик проведения лабораторного практикума.

6.3 Вопросы для самопроверки (компетенци: ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14)

1. Перечислите приемы повышения точности измерения.
2. Проанализируйте методы реанимации рабочих режимов вакуумных установок
3. Перечислите основные правила устройства электроустановок.
4. Назовите характерные неисправности в системе измерения вакуума и методы их устранения.
5. Объясните запредельные режимы работы датчиков давления.
6. Приведите алгоритмы форсированного включения и выключения установок.
7. Перечислите основные документы для монтажа технологических установок.
8. Назовите элементы пусковой автоматики.
9. Составьте фрагмент силовой низковольтной цепи для вакуумной установки.
10. Нарисуйте фрагмент схемы подключения нагрузки через автоматику защиты.
11. Проведите расчет нагрузки технологической операции и ее согласование с питающей сетью.
12. Нарисуйте принципиальную схему высоковольтной цепи вакуумной установки.
13. Нарисуйте схему защитной автоматики высоковольтных цепей.

7 Лабораторные работы

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

– способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);

– способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК-4);

– способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований (ПК-9);

– способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями (ПК-10);

– способность владеть методами проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства (ПК-12);

– способность разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники (ПК-13);

– готовность обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов (ПК-14);

– готовность осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и системы электронной техники на этапах проектирования и производства (ПК-15);

– готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-16).

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 плазмы газового разряда методом двойного зонда (ОК-2, ПК-4, ПК-16)
2. Исследование вакуумных систем на герметичность (ОК-2, ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
3. Исследование плазменного источника электронов (ПК-4, ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-16)

8 Практические занятия

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

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

В результате решения задач и обсуждения практических заданий студенты приобретают следующие компетенции:

- способность к самостоятельному обучению новых методов исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);

- способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК-4);

- способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований (ПК-9);

- способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями (ПК-10);

- способность владеть методами проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства (ПК-12);

- способность разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники (ПК-13);

- готовность обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов (ПК-14);

- готовность осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и системы электронной техники на этапах проектирования и производства (ПК-15);

- готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-16).

Темы практических занятий приведены ниже:

1. Расчет вакуумных систем для формирования приборов квантовой и оптической электроники (ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
2. Расчет параметров формирования нанослоев (скорости, толщины, массопереноса) (ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
3. Разработка алгоритма работы вакуумного оборудования (ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-15)
4. Расчет параметров газофазных реакций, расчет сорбционных и диффузионных процессов (ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-16)
5. Составление общей схемы подготовки подложек (ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-16)
6. Расчет электрофизических параметров оборудования для формирования и обработки нанослоев (ОК-2, ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
7. Обсуждение конструкторской части индивидуальных работ (ОК-2, ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
8. Расчет параметров технологичности (ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
9. Решение задач на литографические и термические процессы (ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14, ПК-16)
10. Решение задач на автоматизацию технологических процессов (ОК-2, ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-16)
11. Разработка маршрутной карты для формирования эпитаксиальных покрытий в вакууме (ПК-4, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
12. Разработка операционных карт (ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)
13. Конференция по защите индивидуальных заданий (ОК-2, ПК-4, ПК-9, ПК-10, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16)

9. 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 9.1 приведено содержание разделов для самостоятельного изучения.

Содержание тем для самостоятельного изучения

№	Раздел	Тема самостоятельного изучения
1	Процесс получения материалов для приборов квантовой и оптической электроники	Модели роста кристалла. Процесс расшифровки кинетики роста квантовых точек и сверхрешеток при молекулярной эпитаксии. Расчет вакуумных систем
2	Кинетика технологического процесса. Межфазные взаимодействия в технологических процессах	Адсорбция, абсорбция, хемосорбция, десорбция. Расчет безмасляных вакуумных систем. Программное управление оборудованием
3	Вакуумная технология. Электронно-лучевая, ионно-лучевая и плазменная технология	Вакуумные соединения и вводы. Расчет электрофизических параметров
4	Специальные вопросы технологии изготовления приборов и устройств квантовой и оптической электроники.	Расчет параметров технологичности. Методы поиска течей. Техника и технология ионного травления.
5	Процесс эпитаксиального выращивания структур для приборов квантовой и оптической электроники	Молекулярные испарители. Виды эпитаксий. Математическое моделирование эпитаксии.
6	Сервисное обслуживание установок эпитаксии	Подготовка отчетов по лабораторным работам
	Подготовка к конференции	Отчет по индивидуальному заданию

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.

Индивидуальная работа преследует следующие цели:

1. Закрепить и углубить теоретические знания, полученные студентами при изучении дисциплины.

2. Научить студентов применять полученные теоретические знания для решения поставленных перед ними практических задач.

Задание на индивидуальную работу предусматривает расчет и разработку элементов и устройств квантовой и оптической электроники. Предметом индивидуальных работ являются выбор, обоснование и расчет элементов и узлов квантовых и оптоэлектронных приборов, расчет электрических и оптических параметров, режимов работы, возникающих погрешностей и др.

Виды контроля и сроки выполнения

Вид работы	Содержание этапов	Срок сдачи задания
Индивидуальная работа	Этапы выполнения работы: 1. Представление списка используемой литературы, рабочих материалов, чернового наброска содержания (плана) курсовой работы 2. Представление чернового варианта индивидуальной работы 3. Защита индивидуальной работы: - содержание индивидуальной работы, глубина раскрытия темы; - оформление; - доклад; - ответы на вопросы; - творческие моменты.	Через 1 месяц Через 1,5 месяца За 1 месяц до сессии

Примерное задание на индивидуальную работу

Разработать процесс синтеза функционального покрытия на конкретном материале оптической электроники, или травления конкретного материала квантовой электроники. Спроектировать и рассчитать вакуумную схему, обосновать принципиальную схему источника частиц. Провести расчет электрофизических параметров. Провести расчет технологических параметров (скорости формирования, скорости травления и др). Разработать маршрутную и операционную карты. Обосновать выбор методов контроля параметров процесса.

Темы индивидуальных заданий

1. Разработать процесс синтеза фуллеренов
2. Разработать процесс формирования просветляющего покрытия (Cu/MgF₂/LiNbO₃)
3. Разработать процесс синтеза нанослоя Pb для оптического волновода на стекле
4. Разработать процесс синтеза нанослоя окиси цинка для оптического волновода
5. Разработать процесс ионного травления нанослоя MgF₂
6. Разработать процесс легирования поверхности ниобата лития железом
7. Разработать процесс изготовления диффузионного волновода на окиси титана

8. Разработать процесс получения эпитаксиальных пленок алюминия
9. Разработать процесс получения эпитаксиальных пленок арсенида галлия
10. Разработать процесс формирования зеркала с внешним отражающим слоем для оптических исследований

Критерии оценки задания

Оценка усредняется по блокам задания: литературный обзор, уровень математического аппарата моделирования процессов, уровень компьютерной графики, уровень ЭВМ. В итоге специалист, прочитавший работу должен понять, как изготовить прибор.

Для получения оценки «хорошо» требуется закончить учебную часть и получить творческое задание. Для оценки «отлично» необходимо иметь заготовку для публикации отличительных фрагментов.

11. Тесты на освоение компетенций

Способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2)

1. Какой наиболее продуктивный метод освоения достижений науки и техники: 1 - Интернет, 2 - патентный поиск, 3 - книги

2. Какой наиболее продуктивный метод сопровождения технологического процесса: 1 - визуально, 2 - по записи последовательности операций на ЭВМ, 3 - на память

3. Приведите вариант перестройки вакуумной установки под процесс сушки биопрепаратов

Способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК-4)

1. Какие преимущества имеет пневмоавтоматика перед электронными схемами?

2. Спроектируйте систему радиоуправляемого отключения диффузионной печи на базе радиоуправляемых моделей.

3. Как провести измерение импульсного давления в вакуумной камере, используя стационарный газовый разряд, организованный в ионизационном датчике давления ПМИ-2

Способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований (ПК-9)

1. Спроектируйте схему электрического измерения неэлектрической

величины, например расхода газа по показанию двух термопар стабилизированных током накала подогревателя 120 мА.

2. Спроектируйте систему автоматического заземления установки после снятия высокого напряжения.

3. Спроектируйте схему запитки диффузионного насоса так, чтобы его можно было включить только при работе форвакуумного насоса.

Способность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями (ПК-10)

1. Разработайте проектно-техническую документацию на подключение фильтров типа «Ман» в систему выхлопа вакуумных насосов.

2. Разработайте проектно-техническую документацию на подключение вакуумных установок к оборотной системе водоснабжения.

3. Спроектируйте фрагмент технического паспорта на лабораторию, в частности электрическую схему освещения.

Способность владеть методами проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства (ПК-12)

1. Последовательность технологических процессов записана в Microsoft Excel. Поясните, как ввести дополнительную операцию в технологический процесс.

2. Спроектируйте технологический процесс подготовки металлических подложек используя подсистему «Технолог»

3. Спроектируйте процесс функционального нагрева печи для окисления нанослоев и последующей диффузии используя программируемые контроллеры фирмы «Овен».

Способность разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники (ПК-13)

1. Разработать технологическую документацию на применение газоразрядного источника электронов для прошивки отверстий в алюминии.

2. Разработать технологическую документацию на применение магнетрона для формирования покрытий

3. Разработать технологическую документацию на изготовление диффузионного волновода на основе титана.

4. Разработать технологическую документацию на изготовление диффузионного волновода на основе оксида цинка

Готовность обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов (ПК-14)

1. Назовите критерии оценки технологичности изделий
2. В системе ионного травления кристалла оцените стоимость одного миллиампера ионного тока на киловатт затраченной электроэнергии и сравните с мировым значением.
3. Нужно изготовить фланец для вакуумного трубопровода толщиной 10 мм и диаметром 100 мм. Его лучше: 1 – вырезать газосваркой и обточить на токарном станке; 2– выточить из круглого прутка.

Готовность осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и системы электронной техники на этапах проектирования и производства (ПК-15)

1. При изготовлении вакуумного трубопровода токарь рекомендует Вам провести чистку труб изнутри. Вы: 1-скажете- это гениально!, 2- будете согласовывать это действие с начальством, 3- скажете: «и так сойдет».

2. При изготовлении генератора плазмы типа магнетрона Вы: 1 – обсуждаете на техническом совете как лучше сделать; 2 – сразу делаете чертежи и отдаете главному инженеру; 3 – моделируете работу устройства и проводите корректировку чертежей.

3. Анод генератора плазмы вместо медного выполнен из латуни. К каким последствиям это может привести при работе генератора на малом токе и малом напряжении. 1 – распыление цинка из латуни мало и устройство будет работать нормально; 2– автор проекта должен написать инструкцию с указанием ограничения по току и напряжению; 3- остановить изготовление до появления материала

Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-16)

1. Составьте программу исследований по формированию пленки MgF_2 на ниобате лития с последующим просветлением в области 1000 нм путем легирования медью.

2. На основании патентных исследований обоснуйте метод формирования волноводного слоя на основе оксида висмута

3. Составьте программу научного эксперимента по формированию планарного волновода на стекле на основе свинца.

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. — [http://e.lanbook.com/books/element.php? pl1_cid=25&pl1_id=3554](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=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", 2001. - 448 с. ISBN 978-5-8114-1198-6. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1550

3. 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/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2769

4. 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

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Специальные вопросы технологии приборов
квантовой и оптической электроники

Методические указания по самостоятельной работе

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