

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

Кафедра электронных приборов

## **ОСНОВЫ ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления  
210100.62 – «Электроника и наноэлектроника»

2013

Орликов, Леонид Николаевич

Основы вакуумных технологий = Основы вакуумных технологий: Методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 210100.62 – «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, 2013. – 28 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.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и наноэлектроники (ПК-18);

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);

– способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению 210100.62 – «Электроника и наноэлектроника» по дисциплине «Основы вакуумных технологий».

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  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г.

## **ОСНОВЫ ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления  
210100.62 – «Электроника и наноэлектроника»

Разработчик  
д-р техн. наук, проф.каф.ЭП  
\_\_\_\_\_ Л.Н.Орликов  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г

## Содержание

Введение .....	5
Раздел 1 Вакуумная технология .....	6
1.1 Содержание раздела .....	6
1.2 Методические указания по изучению раздела.....	6
1.3 Вопросы для самопроверки .....	6
Раздел 2 Расчет вакуумных систем .....	8
2.1 Содержание раздела .....	8
2.2 Методические указания по изучению раздела.....	8
2.3 Вопросы для самопроверки .....	9
Раздел 3 Подготовка изделий к технологическим операциям.....	9
3.1 Содержание раздела .....	9
3.2 Методические указания по изучению раздела.....	9
3.3 Вопросы для самопроверки .....	10
Раздел 4 Пленочная технология, эпитаксия.....	11
4.1 Содержание раздела .....	11
4.2 Методические указания по изучению раздела.....	11
4.3 Вопросы для самопроверки .....	12
4.3.1 Пленочная технология.....	12
4.3.2 Эпитаксия.....	13
Раздел 5 Сертификация технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.....	14
5.1 Содержание раздела .....	14
5.2 Методические указания по изучению раздела.....	14
5.3 Вопросы для самопроверки .....	15
Раздел 6 Разработка инструкций по эксплуатации используемых технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала .....	16
6.1 Содержание раздела .....	16
6.2 Методические указания по изучению раздела.....	16
6.3 Вопросы для самопроверки .....	17
7 Лабораторные работы .....	17
8 Практические занятия .....	20
9 Подготовка к контрольной работе.....	21
9.1 Темы.....	21
9.2 Тестовые вопросы .....	21
9.2.1 Вакуумная технология .....	21
9.2.2 Подготовка изделий к технологическим операциям.....	22
9.2.3 Пленочная технология, эпитаксия .....	23
9.2.4 Сертификация и разработка инструкций по эксплуатации .....	23
10 Темы для самостоятельного изучения .....	24
Заключение .....	25
Рекомендуемая литература .....	27

## Введение

*Целью* изучения дисциплины «Основы вакуумных технологий» является углубление понимания процессов, происходящих при формировании оптических материалов и изделий. Студенты приобретают навыки формирования нанослоев в условиях вакуума. Прививается навык в анализе разработки последовательностей технологических операций.

*Задачей* дисциплины является формирование у студентов представлений о процессах при синтезе оптических материалов и изделий в вакууме и плазме

Изучение дисциплины «Основы вакуумных технологий» базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Физика», «Математика», «Вакуумная и плазменная электроника», «Твердотельная электроника».

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способностью собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и наноэлектроники (ПК-18);

– способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);

– способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

В результате изучения дисциплины студент должен:

*знать* физические принципы работы приборов электроники и наноэлектроники; основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических материалов;

*уметь* ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники; разрабатывать принципиальные схемы последовательностей технологических операций; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций; использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;

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

## Раздел 1 Вакуумная технология

### 1.1 Содержание раздела

Понятие «вакуум». Типовые вакуумные системы и установки. Единицы измерения давления и потока в системе «СИ». Режимы течения газа. Проводимость вакуумных коммуникаций. Основное уравнение вакуумной техники. Технология получения и измерения вакуума на типовых вакуумных установках.

### 1.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Вакуумная технология» следует обратить внимание на обзор литературы и анализ отечественных и зарубежных разработок по методам получения вакуума и его применению. Желательно построить схему реализации физического явления из анализа литературных данных. Обращается внимание на разработки установок с управлением от ЭВМ.

В результате изучения раздела студент приобретает:

- способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования (ПК-18);
- способность строить простейшие физические и математические модели приборов, устройств и установок, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19).

В результате изучения раздела дисциплины студент должен:

- знать* физические принципы формирования вакуумных приборов;
- уметь* ориентироваться в многообразии современных технологий;
- использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;
- владеть* основными навыками анализа достоинств и недостатков известных вакуумных технологий.

Форма контроля – проверка конспекта, опрос и проверка на практических занятиях (решение ситуационных заданий), отчет и допуск к лабораторной работе, тест.

### 1.3 Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите критерии оценки режимов течения газа.
- 2 Переведите нестандартные единицы потока в стандартные.
- 3 Как производится сложение проводимости вакуумпроводов?
- 4 Как меняется проводимость отверстий от рода газа и температуры?
- 5 Запишите основное уравнение вакуумной техники.

- 6 Запишите алгоритм расчета времени откачки.
- 7 Приведите соотношения для расчета газовыделения.
- 8 Назовите типы вакуумных систем.
- 9 Приведите алгоритм расчета вакуумной системы.
- 10 Опишите принципы работы вакуумных насосов.
- 11 Объясните причины предельных возможностей откачных средств по давлению.
- 12 Перечислите марки масел для вакуум-насосов и требования к ним.
- 13 Какое назначение газового балласта?
- 14 Приведите алгоритм включения и выключения вакуумных установок.
- 15 Охарактеризуйте многопластинчатые, водокольцевые и двух роторные насосы
- 16 Приведите схемы безмасляных форвакуумных насосов
- 17 Назовите специальные механические насосы.
- 18 Нарисуйте характеристики бустерных насосов.
- 19 Нарисуйте диаграмму связи параметров диффузионных насосов.
- 20 Запишите алгоритм запуска и остановки диффузионных насосов.
- 21 Охарактеризуйте новейшие масла для диффузионных насосов.
- 22 Опишите аварийные ситуации при работе диффузионных насосов.
- 23 Приведите алгоритм согласования насосов по потоку газа.
- 24 Объясните принцип работы адсорбционного насоса.
- 25 Напишите алгоритм запуска электроразрядного насоса.
- 26 Приведите схемы манометров различного типа.
- 27 Нарисуйте конструкции манометров для высоких и сверхнизких давлений.
- 28 Объясните алгоритм градуировки термодатчиков.
- 29 Опишите работу магниторазрядного датчика для сверхнизких давлений.
- 30 Объясните физические принципы, положенные в основу достижений в измерении вакуума термодатчиками.
- 31 Опишите волоконнооптические, радиоактивные и тензодатчики.
- 32 Проанализируйте ошибки и погрешности при измерения давления.
- 33 Приведите блок-схему измерения давления с помощью ЭВМ.
- 34 Охарактеризуйте методы течеискания.
- 35 Объясните принцип работы вакуумметра- течеискателя.
- 36 Объясните работу галогенного течеискателя.
- 37 Назовите физические процессы, лежащие в основе построения измерителей парциального давления.
- 38 Назовите характеристики оборудования для течеискания.

- 39 Объясните метод масспектрометрии в течеискании.
- 40 Приведите схему устройства спектрометра с магнитной разверткой.
- 41 Сравните времяпролетные и квадрупольные масспектрометры.
- 42 Опишите работу монополярного масспектрометра.
- 43 Объясните метод накопления в течеискании.
- 44 Перечислите технические достижения в течеискании.
- 45 Назовите типы вакуумных ловушек и их параметры.

## **Раздел 2 Расчет вакуумных систем**

### **2.1 Содержание раздела**

Методика расчета вакуумных систем. Методы исследования вакуумных систем на герметичность.

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

При изучении раздела «Расчет вакуумных систем» следует обратить внимание на режимы течения газа, что определяет аргументированный выбор того или иного математического соотношения и использование соответствующего программного продукта. Исходя из технологического процесса, происходит выбор потока рабочего газа и соответственно установки определенного назначения.

В результате изучения раздела студент приобретает:

- способность строить простейшие физические и математические модели приборов различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);
- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику исследования параметров и характеристик приборов, устройств и установок (ПК-20).

В результате изучения раздела дисциплины студент должен:

*знать* физические принципы работы приборов электроники и наноэлектроники;

*уметь*:

- определять расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций;
- использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;

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

## **2.3 Вопросы для самопроверки**

1. Запишите уравнение для суммарного потока газов, которые необходимо учесть в расчете вакуумной системы.
2. Какие ориентировочно времена должны получиться при расчете средств откачки?
3. Какие приемы применяются для корректировки времени откачки?
4. Какие физические явления необходимо учитывать при корректировке откачных средств?
5. Как рассчитывается пропускная способность вакуумных коммуникаций.
6. Как проводится поверочный расчет вакуумной системы.
7. Понятие согласования откачных средств по итогам расчета.
8. Как построить распределение давления в вакуумной системе по итогам расчета.
9. Как приводится в соответствие расчетные производительности откачных средств с реально выпускаемым оборудованием?
10. Как проводится расчет возможных течей в вакуумных системах?

## **Раздел 3 Подготовка изделий к технологическим операциям.**

### **3.1 Содержание раздела**

Источники загрязнений материалов. Сорбционные и десорбционные процессы. Закономерности газовой выделенности из изделий. Вакуумная гигиена. Общая схема очистки материалов

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

При изучении раздела «Подготовка изделий к технологическим операциям» следует обратить внимание на общую схему очистки материалов, на закономерности газовой выделенности из изделий.

В результате изучения раздела студент приобретает:

- способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования (ПК-18);
- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику исследования параметров и характеристик приборов электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

В результате изучения раздела дисциплины студент должен:

– *знать* основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических материалов;

– *уметь* ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники; разрабатывать принципиальные схемы последовательностей технологических операций; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций; использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;

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

### 3.3 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 4 Пленочная технология, эпитаксия

### 4.1 Содержание раздела

Назначение и типы пленок. Методы получения пленок.

Термовакuumное испарение пленок. Условия, влияющие на формирование пленки при термовакuumном напылении. Получение пленок равномерной толщины.

Адгезия пленок. Измерение скорости напыления и толщины пленок. Методы измерения параметров напыления. Экспресс методы сравнительного анализа толщины пленок. Специальные методы нанесения пленок. Газофазная эпитаксия. МОС-гидридная эпитаксия, молекулярно-лучевая эпитаксия

### 4.2 Методические указания по изучению раздела

При изучении раздела «Пленочная технология, эпитаксия» следует обратить внимание на условия, влияющие на формирование пленки при термовакuumном напылении. Важно проанализировать, как реализуются эти условия в отечественной и зарубежной литературе и какие характеристики приборов реализуются.

В результате изучения раздела студент приобретает:

- способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и наноэлектроники (ПК-18);
- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

В результате изучения раздела дисциплины студент должен:

*знать* основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических материалов;

*уметь*:

– ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники;

– определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций;

– использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;

*владеть* основными навыками анализа технологий формирования оптических материалов на элементах электроники и наноэлектроники.

### 4.3 Вопросы для самопроверки

#### 4.3.1 Пленочная технология

- 1 Охарактеризуйте типы пленок.
- 2 Укажите типы термоиспарителей и требования к ним.
- 3 Сравните термоионное и электронно-лучевое осаждение пленок.
- 4 Каковы особенности безтигельного испарения пленок?
- 5 Объясните диаграмму равновесия при испарении сплавов.
- 6 Как реализуется метод вспышки?
- 7 Как получить пленки равномерной толщины?
- 8 Какие условия, влияют на рост пленок?
- 9 Каковы особенности испарения сублиматоров?
- 10 В чем преимущество пленок, полученных лазерным испарением?
- 11 Приведите схему процесса лазерного испарения.
- 12 Опишите условия улучшения чистоты и стехиометрии пленок.
- 13 Объясните процесс реализации взрывного испарения пленок.
- 14 Как получить пленки без газовых включений?
- 15 Назовите способы уменьшения загрязнений в пленках.
- 16 Нарисуйте схемы распыления материалов со смещением потенциалов, со вспомогательным электродом.
- 17 Каковы особенности геттерного распыления пленок?
- 18 Как влияет режим откачки на загрязнение пленок?
- 19 Опишите принципы работы аппаратуры для контроля скорости и толщины нанесения пленок.
- 20 Охарактеризуйте достоинства и недостатки ионного осаждения пленок.
- 21 Назовите факторы, влияющие на скорость осаждения пленок.
- 22 Сравните диодные, триодные и тетродные системы для распыления материалов.
- 23 Приведите схемы магнетронного и высокочастотного распыления.
- 24 Сравните системы для напыления пленок и особенности их применения.
- 25 Как оценить адгезию пленок?
- 26 Каковы приемы повышения адгезии пленок?
- 27 Охарактеризуйте строение плазмонапыляемых материалов.
- 28 Как влияют условия напыления на пористость пленок?
- 29 Какова связь теплового режима подложки и зародышеобразования.
- 30 Как провести прогнозирование свойств напыленных пленок?
- 31 Как проводится оценка толщины пленок?
- 32 Как провести контроль качества поверхности пленок?
- 33 Опишите способ получения пленок плазмореактивным

осаждением.

- 34 Для чего проводится напыление с подслоем?
- 35 Зачем необходимы отжиг и вжигание пленок?
- 36 Перечислите установки для напыления пленок.
- 37 Приведите алгоритм расчета параметров напыления.
- 38 Как измеряется поверхностное сопротивление пленок.
- 39 Как получить пленки тугоплавких металлов?
- 40 Приведите способы получения диэлектрических защитных пленок.
- 41 Каковы методы получения окисных пленок?
- 42 Охарактеризуйте методы выращивания окислов в парах воды.
- 43 Опишите методику меченых атомов в контроле толщины пленок.
- 44 Как проводится окисление кремния в сухом и влажном кислороде.
- 45 Каковы методы ускорения окисления?
- 46 Приведите схему окисления с применением электронных пучков.
- 47 Как проводится окисление в тлеющем разряде.
- 48 Опишите процесс окисления в углекислом газе.
- 49 Поясните методы измерения прозрачных окисных пленок.
- 50 Охарактеризуйте свойства оксидных пленок.
- 51 Опишите процесс формирования структур типа металл-окисел-полупроводник.
- 52 Охарактеризуйте процесс напыления окунанием в паровую фазу.
- 53 Опишите возможные газо-фазные реакции при напылении пленок.
- 54 Что такое изобарный потенциал?
- 55 Поясните диаграмму фазных состояний при напылении пленок.
- 56 Что такое энтальпия активации процесса?
- 57 Поясните понятие энтропии газо-фазной реакции.

#### 4.3.2 Эпитаксия

- 1 Опишите технологию традиционной эпитаксии и ее недостатки.
- 2 Охарактеризуйте общие условия искусственной эпитаксии.
- 3 Сравните методы ориентированной кристаллизации.
- 4 Перечислите условия кристаллизации при ионно-лучевом и магнетронном распылении.
- 5 Поясните технологические приемы кристаллизации.
- 6 Объясните механизмы ориентации кристаллов при эпитаксии.
- 7 Расскажите, как провести анализ пленок на монокристалличность.

- 8 Опишите методы перекристаллизации пленок.
- 9 Разъясните условия проведения боковой эпитаксии.
- 10 Назовите методы кристаллизации селекцией затравок.
- 11 Охарактеризуйте методы альтернативной эпитаксии.
- 12 Приведите условия проведения высококачественной эпитаксии.
- 13 Объясните механизм взрывной кристаллизации.
- 14 Назовите методы стимуляции эпитаксии.
- 15 Как провести эпитаксию молекулярными пучками?
- 16 Как проводится низкотемпературная эпитаксия в плазме?
- 17 Выращивание многослойных эпитаксиальных структур?
- 18 Как проводится эпитаксия под действием ионных пучков?
- 19 Поясните особенности использования ЭВМ для эпитаксии.
- 20 Как проводится маркировка кремниевых эпитаксиальных структур?
- 21 Охарактеризуйте процесс легирования эпитаксиальных слоев.
- 22 Как проводится подготовка поверхности под эпитаксию?
- 23 Опишите технологический цикл проведения эпитаксии.
- 24 Контроль параметров и дефектов эпитаксиальных слоев?
- 25 Каковы методы получения молекулярных пучков для эпитаксии.
- 26 Молекулярно-лучевая эпитаксия
- 27 МОС-гидридная эпитаксия

## **Раздел 5 Сертификация технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов**

### **5.1 Содержание раздела**

Понятие сертификации. Технический паспорт. Номенклатура оборудования по установленной мощности. Обозначение типов электрофизических установок. Маркировка эпитаксиальных структур

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

При изучении раздела «Сертификация технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов» следует обратить внимание на наличие в рекламе продукции фирм- производителей и фирм по ремонту и сервису, а также наличие имиджа производителя. Следует обращать внимание на рынки сбыта продукции, на наличие в устройствах электроники электронных регистраторов параметров процессов.

В результате изучения раздела студент приобретает:

– способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию (ПК-18);

– способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств функционального назначения (ПК-20).

В результате изучения раздела дисциплины студент должен:

*знать* физические принципы работы приборов электроники и наноэлектроники;

*уметь* ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники;

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

### **5.3 Вопросы для самопроверки**

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

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

## **Раздел 6 Разработка инструкций по эксплуатации используемых технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала**

### **6.1 Содержание раздела**

Инструкции по эксплуатации оборудования. Инструкции по поиску течей в вакуумных системах. Инструкции по эксплуатации типовых вакуумных установок с масляными средствами откачки. Аварийные режимы вакуумного оборудования. Инструкции по эксплуатации ЭВМ.

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

При изучении раздела «Разработка инструкций по эксплуатации используемых технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала» следует обратить внимание на диапазоны и условия работы оборудования, на соблюдение техники безопасности. Программное обеспечение должно быть лицензионным.

В результате изучения раздела студент приобретает:

- способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию в области электроники и наноэлектроники (ПК-18);
- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

В результате изучения раздела дисциплины студент должен:

*знать* физические принципы работы приборов электроники и наноэлектроники;

*уметь*:

- ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники;
- разрабатывать принципиальные схемы последовательностей технологических операций;
- определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций;
- владеть* навыками анализа достоинств и недостатков известных технологий формирования оптических материалов на элементах электроники и наноэлектроники.

### 6.3 Вопросы для самопроверки

1. Из каких частей должна состоять любая инструкция?
2. Чем отличается инструкция «в чрезвычайной ситуации» от инструкции «в нештатной ситуации».
3. В каких условиях нельзя использовать ЭВМ?
4. Составьте инструкцию по запуску электрофизической установки общего назначения.
5. Составьте инструкцию по текущему сервисному обслуживанию форвакуумного насоса.
6. Составьте инструкцию по сервисному обслуживанию вакуумных камер.
7. Составьте инструкцию по электробезопасности при работе на установках до 1000 В.
8. Что такое «инструкция на рабочем месте».
9. Понятие «допуск на проведение работ»
10. Составьте инструкцию по текущему сервисному обслуживанию вакуумной установки.

## 7 Лабораторные работы

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- проверяется работа отдельных элементов установки аппаратуры;
- определяется соответствующий интервал значений для каждой из величин, измеряющихся в данном эксперименте;
- оцениваются возможные ошибки в различных величинах.

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

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

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

Все записи необходимо датировать и снабжать заголовками.

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

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

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Исследование проводимости вакуумных коммуникаций. Во время выполнения лабораторной работы студент приобретает способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);

2. Исследование вакуумной системы на герметичность. Во время выполнения лабораторной работы студент приобретает:

– способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);

– способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

3. Исследование процесса ионной обработки материалов. Во время выполнения лабораторной работы студент приобретает:

- способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);
- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

## **8 Практические занятия**

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

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

Темы практических занятий приведены ниже:

1. Вакуумная технология. В результате решения задач студент приобретает:

- способность анализировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и наноэлектроники (ПК-18);

- способность строить простейшие физические и математические модели приборов различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19);

2. Подготовка изделий к технологическим операциям. В результате решения задач студент приобретает:

- способность собирать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию в области электроники и наноэлектроники (ПК-18);

- способность строить простейшие математические модели устройств и установок различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19).

3. Технология электровакуумных приборов. В результате решения задач студент приобретает способность строить простейшие физические и математические модели приборов электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-19).

4. Пленочная технология, эпитаксия. В результате решения задач студент приобретает:

– способность строить простейшие физические и математические модели схем, установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-19);

– способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

На практических занятиях также проводятся тестовые опросы и контрольные работы.

## **9 Подготовка к контрольной работе**

### **9.1 Темы**

Студенты выполняют три контрольных работы. Контрольные работы проводятся по следующим темам:

- 1 Расчет вакуумных систем
- 2 Общая схема очистки материалов
- 3 Сертификация и разработка инструкций

При выполнении контрольной работы каждому студенту выдается индивидуальное задание, включающее в себя теоретическую часть (тестовый опрос) и три задачи, выбранные из предложенных задач для самостоятельного решения (задачи представлены в методическом указании к практическим занятиям по дисциплине «Основы вакуумных технологий»).

### **9.2 Тестовые вопросы**

#### **9.2.1 Вакуумная технология**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 9.2.2 Подготовка изделий к технологическим операциям

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

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

3 Сколько категорий разделения помещений по условиям вакуумной гигиены?

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

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

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

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

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

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

### 9.2.3 Пленочная технология, эпитаксия

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

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

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

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

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

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

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

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

### 9.2.4 Сертификация и разработка инструкций по эксплуатации

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

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

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

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

## **10 Темы для самостоятельного изучения**

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

Темы для самостоятельного изучения

- 1 Пропускная способность вакуумных коммуникаций.
- 2 Методы исследования вакуумных систем на герметичность
- 3 Вакуумная гигиена и очистка материалов.
- 4 Методы получения пленок
- 5 Обозначение типов электрофизических установок.
- 6 Инструкции по эксплуатации типовых вакуумных установок с масляными средствами откачки

По одной из выбранной теме студенты пишут реферат.

Реферат является важной составной частью самостоятельной работы студента. При написании реферата студент приобретает навыки научного изложения материала и умения обобщать факты и делать на их основе теоретические и практические выводы. В последующем эти навыки и умения пригодятся студенту при написании выпускной квалификационной работы.

Студент должен четко осознавать цели написания реферата. Главной целью выполнения данной работы является выработка более углубленного подхода к заданной проблеме на основе теоретических знаний, полученных при изучении учебного курса, и приобретение опыта владения научным стилем. Реферат является небольшим научным исследованием.

Реферат позволяет выявить разнообразие подходов к той или иной теме. При подготовке к написанию студент должен изучить необходимую литературу по предмету реферативного исследования, кратко и ясно изложить мнения различных исследователей и, по возможности, дать свое понимание заданной проблемы.

Написание реферата, как правило, включает следующие стадии подготовки:

1. Осмысление темы.
2. Нахождение литературы по теме.
3. Выборочное чтение и конспектирование литературы по теме.
4. Дальнейшее осмысление темы.

5. Написание плана реферата и составление списка используемой литературы.

6. Написание введения

7. Написание основной части реферата.

8. Написание заключения.

9. Оформление реферата.

Реферат должен иметь следующую структуру:

Титульный лист (образец титульного листа приводится в данном методическом пособии).

Содержание реферата с постраничной разбивкой.

Введение – (1,5-2 стр.).

Основная часть – один, два или три параграфа – (12-15 стр.).

Заключение – (1-2 стр.).

Список литературы (не менее 8-10 наименований).

Объем реферативного исследования должен составлять 15-20 страниц машинописного текста (1800 знаков на странице) формата А4 (210x297 мм).

*Во введении* должно быть представлено обоснование темы исследования и его цели, задач, дана характеристика привлеченных исследований.

*В основной части* реферативного исследования должны быть представлены позиции отечественных и/или зарубежных авторов по исследуемой проблеме, теоретическое изложение сути проблемы.

Студент должен продемонстрировать умение пользоваться инструментами научного анализа, строго следить за сохранением единого стиля. Содержание и структура реферата должны быть подчинены логике изложения. Творческий и нестандартный подходы являются существенными плюсами для написания реферативного исследования.

*В заключении* студент обобщает материал, изложенный в основной части. Необходимо также изложить свою личную позицию по исследуемой теме.

## **Заключение**

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

1. Способы улучшения стехиометрии и чистоты пленок при термовакуумном испарении материалов

2. Аппаратуру контроля скорости и толщины нанесения пленок

3. Прогнозирование качества пленок в зависимости от метода их получения.

4. Приемы повышения адгезии пленок.

5. Технологические приемы улучшающие равномерность распределения толщины формируемых покрытий.

6. Оценку направления газо-фазных реакций при термовакуумном

напылении пленок.

7. Условия проведения искусственной эпитаксии
8. Виды литографий, их достоинства и недостатки
9. Механизмы ионного травления и их приоритетность при обработке конкретных материалов.
10. Общую последовательность операций по очистке деталей для электронных приборов
11. Методы оценки мощности электронного или ионного источника, необходимой для проведения технологических операций.
12. Методы измерения твердости материалов
13. Технику и технологию процесса плазменной наплавки, ее достоинства и недостатки
14. Методы получения порошков
15. Контроль размеров порошков и их сепарация
16. Согласование металлокерамических спаев электровакуумных приборов
17. Достоинства и недостатки лучевых, дуговых, магнетронных и плазменных методов осаждения покрытий
18. Приемы программирования систем автоматизированного управления на языках типа «релейно-контактных символов», «время-команда», «время-параметр», «КАУТ», «STPI».
19. Методы анализа вакуумных систем на герметичность.
20. Средства отсчета базовых координат для станков с числовым программным управлением.
21. Кодировку технологических циклов, операций, деталей и инструментов при автоматизации технологических процессов.
22. Методы анализа проектов и документов на технологичность
23. Методы формирования герметичных вводов в вакуум или в электронный прибор
24. Методы изоляции элементов интегральных микросхем
25. Единую систему допусков, посадок и квалитетов
26. Количественную оптимизацию параметров технологических процессов
27. Электрическую развязку систем охлаждения от высокого напряжения.
28. Порядок размещения элементов ИМС на подложке
29. Технологию формирования покрытий методом катодно-анодного оксидирования
30. Варианты построения цветовых уравнений при корректировке цветовой композиции электронного прибора
31. Методы реанимации режимов и последовательностей технологических операций
32. Технологические приемы повышения радиационной стойкости электронных приборов
33. Методы защиты электронных приборов от наводок и помех

34. Правила устройства электроустановок с позиций эргономики, технической эстетики и дизайна.

### Рекомендуемая литература

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", 2011. - 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
6. Орликов Л.Н. Вакуумные и специальные вопросы технологии приборов квантовой и оптической электроники: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2013. – 102 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
7. Орликов Л.Н. Основы вакуумных технологий. Методические указания к практическим занятиям. – Томск: ТУСУР, 2013. – 28 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
8. Орликов Л.Н. Исследование проводимости вакуумных коммуникаций: Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2013. – 14 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
9. Исследование вакуумной системы на герметичность Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2013. – 10 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
10. Исследование процесса ионной обработки материалов Методические указания к лабораторной работе – Томск: ТУСУР, 2013. – 17 с. Препринт. <http://edu.tusur.ru/training/publications>
11. Периодическая литература (за последние 5 лет).

12. Журналы: “Физика и химия обработки материалов”, “Известия вузов, серия физика”, “Автоматика и вычислительная техника” и др.
13. Реферативные журналы: ”Электроника”, “Физика”, “Химия”.
14. Описания патентов и авторских свидетельств по классам H01J, H01S, H05H, C23C.

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Основы вакуумных технологий

Методические указания по самостоятельной работе

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