

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
П.Е.Троян

Документ подписан электронной подписью 16 г.
Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Владелец: Троян Павел Ефимович
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА ПЛЕНОЧНЫХ НАНОСТРУКТУР

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Профиль(и) «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3,4 Семестр 6,7

Учебный план набора 2013, 2014 года.

Распределение рабочего времени:

| № | Виды учебной работы | Семестр 1 | Семестр 2 | Семестр 3 | Семестр 4 | Семестр 5 | Семестр 6 | Семестр 7 | Семестр 8 | Всего | Единицы |
|-----|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| 1. | Лекции | | | | | | 44 | | | 44 | часов |
| 2. | Лабораторные работы | | | | | | | | | | часов |
| 3. | Практические занятия | | | | | | 16 | | | 16 | часов |
| 4. | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная) | | | | | | | 18 | | 18 | часов |
| 5. | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4) | | | | | | 60 | 18 | | 78 | часов |
| 6. | Из них в интерактивной форме | | | | | | 10 | | | 10 | часов |
| 7. | Самостоятельная работа студентов (СРС) | | | | | | 48 | 90 | | 138 | часов |
| 8. | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7) | | | | | | 108 | 108 | | 216 | часов |
| 9. | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена | | | | | | 36 | | | 36 | часов |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9) | | | | | | 144 | 108 | | 252 | часов |
| | (в зачетных единицах) | | | | | | 4 | 3 | | 7 | ЗЕТ |

Экзамен 6 семестр

Курсовая работа 7 семестр

Томск 2016

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (квалификация (бакалавр)), утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12.03.2015г. № 218.

Рабочая программа учебной дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «30» 06 2016 г., протокол № 71.

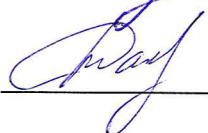
Разработчик:

Доцент кафедры ФЭ

 / В.А.Мухачев

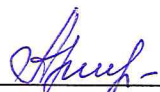
Заведующий кафедрой

Профессор кафедры ФЭ

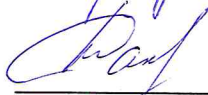
 / П.Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки.


/ Декан ФЭТ

 / А.И. Воронин

/ Зав. профилирующей
кафедрой ФЭ


 / П.Е. Троян

/ Зав. выпускающей
кафедрой ФЭ


 / П.Е. Троян

Эксперты:

Председатель методической
комиссии факультета ФЭТ

 / И.А.Чистоедова

Председатель методической
комиссии кафедры ФЭ

 / И.А. Чистоедова

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение студентами основных законов зарождения и роста наноструктур, а также свойств материалов в пленочном состоянии, формирование навыков проведения расчетов условий зарождения и влияния их на свойства пленок.

Задачи дисциплины – изучение основ роста пленок и зависимости их структуры от технологических факторов;

- изучение основных свойств металлических, резистивных и диэлектрических пленок.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

В соответствии с основной образовательной программой дисциплина «Физика пленочных наноструктур» относится к вариативной части блока 1 (Б1.В.ОД.4).

Дисциплина базируется на знаниях, полученных по математике, физике, химии, материалам электронной техники, физике конденсированного состояния, твердотельной электронике.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин «Процессы микро- и нанотехнологии», «Технология кремниевой наноэлектроники», «Основы технологии электронной компонентной базы»; и при выполнении и написании выпускной квалификационной работы.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Способность представлять адекватному современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

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-2).

3.2. В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать - основные законы образования пленочных наноструктур и влияние условий зарождения на свойства этих структур, размерный эффект;

- основные механизмы электропроводности металлических и диэлектрических пленок;
- основные процессы, приводящие к рождению тонкопленочных МДМ-структур;

Уметь - рассчитывать основные параметры зарождения и роста пленок;

- рассчитывать основные параметры проводящих, резистивных и диэлектрических пленок с учетом размерного эффекта и структуры пленок;

Владеть:

- методами расчета и численного моделирования физико-химических процессов и явлений, протекающих в наноструктурах.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетные единицы.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры | |
|---|-------------|-----------|-----------|
| | | 6 | 7 |
| Аудиторные занятия (всего) | 78 | 60 | 18 |
| В том числе: | | | |
| Лекции | 44 | 44 | |
| Практические занятия (ПЗ) | 16 | 16 | |
| Курсовая работа (аудиторная нагрузка) | 18 | | 18 |
| Самостоятельная работа (всего) | 138 | 48 | 90 |
| В том числе: | | | |
| Проработка лекций, подготовка к практическим занятиям | 20 | 20 | |

| | | | |
|---|-----|-----|-----|
| Подготовка к контрольным работам (КР): две КР | 8 | 8 | |
| Выполнение двух индивидуальных заданий: 1) Образование и рост зародышей пленок; 2) Электропроводность островковых, резистивных и диэлектрических пленок | 20 | 20 | |
| Курсовая работа (самостоятельная работа) | 90 | | 90 |
| Экзамен | 36 | 36 | |
| Общая трудоемкость час | 252 | 144 | 108 |
| Зачетные единицы трудоемкости | 7 | 4 | 3 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Лекции | Практич. занятия. | Курсовая работа | Самост. работа студента | Всего час | Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК) |
|-------|---------------------------------|--------|-------------------|-----------------|-------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 1. | Зарождение и рост тонких пленок | 18 | 6 | 6 | 36 | 60 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 2. | Проводящие пленки | 6 | 2 | 4 | 34 | 36 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 3. | Резистивные пленки | 10 | 4 | 4 | 34 | 42 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 4. | Диэлектрические пленки | 10 | 4 | 4 | 34 | 42 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

| № п/п | Наименование разделов | Содержание разделов | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК) |
|-------|---------------------------------|---|---------------------|---------------------------------------|
| 1 | Зарождение и рост тонких пленок | Осаждение из паровой фазы. Конденсация пленки на подложке. Образование зародышей. Рост зародышей и образование сплошных пленок. Влияние условий на подложке на процесс зародышеобразования и роста пленок. | 18 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 2 | Проводящие пленки | Проводящие пленки в микроэлектронике. Основные характеристики проводящих пленок. Размерный эффект в пленках. Островковые пленки и их свойства. | 6 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 3 | Резистивные пленки | Резистивные пленки для тонкопленочных резисторов. Используемые материалы для получения резисторов с различными номиналами сопротивления и температурного коэффициента сопротивления (ТКС). Влияние состава и структуры пленок на характеристики резисторов. Особенности проводимости и ТКС пленок различного состава. | 10 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 4 | Диэлектрические пленки | Диэлектрические пленки в микро- и нанозлектронике. Свойства диэлектриков в сильных полях. Туннельная эмиссия, эмиссия Шоттки и Пула-Френкеля. Токи, ограниченные пространственным зарядом. Пробой тонких диэлектрических пленок | 10 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

| № п/п | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | | | |
|----------------------------------|---|--|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1 | Математика | + | + | + | + | | | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|--|--|--|
| 2 | Физика | + | + | + | + | | | |
| 3 | Химия | + | | + | | | | |
| 4 | Методы математической физики | + | + | + | + | | | |
| 5 | Физика конденсированного состояния | + | + | + | + | | | |
| 6 | Твердотельная электроника | | + | + | + | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1 | Основы технологии электронной компонентной базы | + | + | + | + | | | |
| 2 | Процессы микро- и нанотехнологии | + | + | + | + | | | |
| 3 | Технология кремниевой нанoeлектроники | + | + | + | + | | | |

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Перечень компетенций | | | | | Формы контроля |
|----------------------|---|-----|-----|-------|---|
| | Л | Пр. | СРС | КР/КП | |
| ОПК-1 | + | + | + | + | Контрольные работы, курсовая работа |
| ОПК-2 | + | + | + | + | Контрольные работы, индивидуальные задания, курсовая работа |
| ПК-2 | + | + | + | + | Курсовая работа, индивидуальные задания, контрольные работы |

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Методы | Формы | Лекции (час) | Практические занятия (час) | СРС (час) | Всего |
|--------|------------------------------|--------------|----------------------------|-----------|-------|
| | Мини-диспуты | 4 | | | 4 |
| | Обсуждение контрольных работ | | 2 | | 2 |
| | Защита курсовой работы | | | 4 | 4 |
| | Итого интерактивных занятий | 4 | 2 | 4 | 10 |

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

(учебным планом не предусмотрен)

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий (семинаров) | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК |
|-------|----------------------|--|---------------------|-------------------------|
| 1. | 1 | Осаждение из паровой фазы. Конденсация пленки на подложке. Рост зародышей и образование сплошных пленок. Влияние условий на подложке на процесс зародышеобразования и роста пленок | 6 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 2. | 2 | Основные характеристики проводящих пленок. Размерный эффект. Островковые пленки. | 2 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 3. | 3 | Тонкопленочные резисторы. Керметы. Состав ТКС. Влияние состава и структуры на характеристики резисторов. Особенности проводимости резистивных пленок. | 4 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |
| 4. | 4 | Диэлектрические пленки. Электропроводность, пробой тонких диэлектрических пленок | 4 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 |

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | Тематика самостоятельной работы (детализация) | Трудо- емкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК | Контроль выполне- ния работы |
|-------|---|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 1. | Проработка лекций, подготовка к прак- тическим занятиям | 20 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 | Опрос на практике, мини-диспуты |
| 2 | Подготовка к контрольным работам (КР): две КР | 8 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 | Оценка контрольной работы |
| 3 | Выполнение двух индивидуальных за- даний: 1) Образование и рост зародышей пле- нок; 2) Электропроводность островковых и резистивных пленок | 20 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 | Защита индивидуаль- ных заданий |
| 4 | Экзамен: в билете 3 вопроса, примеры вопросов представлены в 12.3.2, стр.7- 27 | 36 | ОПК-1, ОПК-2, ПК-2 | Экзамен |

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

1. Электропроводность диэлектрических пленок Si_3N_4
2. Электропроводность островковых пленок Au.
3. Резистивные пленки тугоплавких металлов.
4. Свойства керметных пленок Au-SiO, Re- Si_3N_4 – Mo и т.п.
5. Механизм пробоя МДМ-систем, например, Al-SiO-Al/
6. Свойства резисторов из чистых металлов.
7. Размерный эффект в тонких пленках.

10.1. Распределение времени аудиторных занятий на курсовой проект (работу)

| № п/п | Тема занятий | Трудоемкость (час) | Компетенции ОК, ПК |
|-------|--|-----------------------|------------------------|
| 1. | Выдача задания. Объяснение особенностей по выполнению курсо- вого проекта | 2 | ОПК-1, ОПК- 2, ПК-2 |
| 2. | Консультация 1: Обсуждение литературных данных, уточнение за- дания. | 4 | ОПК-1, ОПК- 2, ПК-2 |
| 3. | Консультация 2: Обсуждение чернового варианта курсового проек- та | 4 | ОПК-1, ОПК- 2, ПК-2 |
| 4. | Защита курсового проекта | 8 | ОПК-1, ОПК- 2, ПК-2 |

10.2. Примерное распределение времени самостоятельной работы на курсовой проект

| № п/п | Тематика самостоятельной работы | Трудо- емкость (час) | Компетен- ции ОК, ПК | Контроль выполнения работы |
|-------|--|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 1. | Знакомство с литературой, составление плана проекта | 20 | ОПК-1, ОПК- 2, ПК-2 | Обсуждение плана проекта |
| 2. | Написание чернового варианта проекта | 30 | ОПК-1, ОПК- 2, ПК-2 | Проверка чер- нового вариан- та |
| 3. | Написание окончательного варианта, расчеты, графи- ки, защита | 40 | ОПК-1, ОПК- 2, ПК-2 | Защита проек- та |

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|----------------------------------|--|---|---|------------------|
| Посещение занятий | 3 | 3 | 3 | 9 |
| Контрольная работа № 1 | 10 | | | 10 |
| Контрольная работа № 2 | | 10 | | 10 |
| Индивидуальное задание 1 | | 15 | | 15 |
| Индивидуальное задание 2 | | | 15 | 15 |
| Компонент своевременности | | 5 | 6 | 11 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Итого максимум за период: | 13 | 33 | 24 | |
| Нарастающим итогом | 13 | 46 | 70 | 100 |

Экзаменационный билет содержит три теоретических вопроса (1 вопрос – 10 баллов)

Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

| Баллы на дату контрольной точки | Оценка |
|---|--------|
| ≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3 |
| < 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ | 2 |

Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС) | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---------------------------------------|--|-------------------------|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 – 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 – 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 - 84 | C (хорошо) |
| | 70 – 74 | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 – 69 | E (посредственно) |
| | 60 - 64 | F (неудовлетворительно) |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

12.1.1. К.И.Смирнова. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебное пособие. Томск: ТУ-СУР, 2012.- 110 с. (50 экз.) - [электронный ресурс] – <http://miel.tusur.ru/>

12.2 Дополнительная литература

12.2.1. Физика тонких пленок. Том 4. Сб. статей под общей редакцией Г. Хасса и Р.Э.Туна, М.: «Мир», 1970. – 440 с. (7 экз.)

12.2.2. Физика тонких пленок. Том 8. Сб. статей под общей редакцией Г. Хасса, М. Франкомба и Р.Гофмана, М.: «Мир», 1978. – 359 с. (5 экз.)

12.2.3. Технология тонких пленок. Справочник. Том 1,2. –М.: Сов. радио, Т.1, 1977.- 664 с. (13 экз.), Т.2, 1977. -768 с. (14 экз.)

12.2.4. Г.А.Воробьев, В.А.Мухачев. Пробой тонких диэлектрических пленок. – М.:«Советское радио», 1977.- 70 с. (36 экз.)

12.2.5. Электропроводность тонких диэлектрических пленок. – Учебное пособие: Ленинградский политехнический институт им. М.И.Калинина, 1981.- 55 с. (4 экз.)

12.2.6. Б.А.Бочкарев, В.А.Бочкарева. Керметные пленки.:«Энергия», Ленинградское отд., 1975.- 152 с. (2 экз.)

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. К.И.Смирнова. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки «Нанотехнологии и микросистемная техника» и «Электроника и нанoeлектроника».-Томск:ТУСУР, 2013.- 25 с. (30 экз.) - [электронный ресурс] - <http://miel.tusur.ru/>

12.3.2. К.И.Смирнова. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направления подготовки «Нанотехнологии и микросистемная техника» и «Электроника и нанoeлектроника».-Томск:ТУСУР, 2013.- 49 с. (50 экз.) - [электронный ресурс] - <http://miel.tusur.ru/>

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы


13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации лекционных и практических занятий необходимы: компьютер с установленным программным обеспечением (п.12.3), проектор и экран.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ


Проректор по учебной работе
П. Е. Троян
« 9 » 08 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Физика пленочных наноструктур
(полное наименование учебной дисциплины или практики)

Уровень основной образовательной программы **бакалавриат**
(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Направление(я) подготовки (специальность) **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
(полное наименование направления подготовки (специальности))

Профиль(и) **«микроэлектроника и твердотельная электроника»**
(полное наименование профиля направления подготовки (специальности))

Форма обучения **очная**
(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

Факультет **электронной техники (ФЭТ)**
(сокращенное и полное наименование факультета)

Кафедра **физической электроники (ФЭ)**
(сокращенное и полное наименование кафедры)

Курс **3,4**

Семестр **6,7**

Учебный план набора 2013, 2014 года.

Зачет _____ семестр

Курсовая работа **7** семестр

Экзамен **6** семестр

Разработчик: доцент каф. ФЭ Мухачев В.А.

Томск 2016

1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Физика пленочных наноструктур» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине «Физика пленочных наноструктур» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Физика пленочных наноструктур» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции |
|-------|---|--|
| ОПК-1 | Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики. | Знать основные законы физики: механики, молекулярно-кинетической теории, электродинамики, физики твердого тела, атомной физики и квантовой механики. Уметь пользоваться законами физики для понимания процессов роста тонких пленок, механизмов электропроводности и пробоя. Владеть навыками оценок основных характеристик проводящих, резистивных и диэлектрических пленок. |
| ОПК-2 | Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат | Знать основные законы зарождения и роста тонких пленок, механизмы электропроводности и пробоя тонкопленочных структур; Уметь выявлять основные технологические параметры, влияющие на характеристики пленок, и уметь делать количественную оценку этих параметров, используя соответствующий физико-математический аппарат; Владеть навыками расчета основных характеристик пленок: структуры, электропроводности и электрической прочности |

| | | |
|------|--|--|
| ПК-2 | 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 | <p>Знать методику экспериментального исследования металлических, резистивных и диэлектрических пленок</p> <p>Уметь аргументировано выбирать нужную методику экспериментального исследования характеристик и свойств тонких пленок, и необходимые для исследований приборы и установки электроники и наноэлектроники</p> <p>Владеть методикой работы с приборами и устройствами электроники для проведения необходимых исследований.</p> |
|------|--|--|

2 Реализация компетенций

1 Компетенция ОПК-1

ОПК-1: Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий, и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

Таблица 2.– Этапы формирования компетенции ОПК-1 и используемые средства оценивания

| 1. Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|--------------------------|--|---|---|
| Содержание этапов | Знать основные законы механики, молекулярной физики, электродинамики, физики твердого тела, квантовой механики, математического анализа | Уметь выбрать законы, необходимые для объяснения изучаемого явления и сделать необходимые вычисления | Владеть фактическими навыками анализа на основе знания основных законов естественных наук и математики |
| Виды занятий | Лекции; Практические занятия; Курсовая работа; Самостоятельная работа | Практические занятия; Курсовая работа; Самостоятельная работа. | Практические занятия; Курсовая работа. |

| | | | |
|---|---|---|--|
| | | | |
| Используемые средства оценивания | Тесты, контрольные работы, индивидуальные задания | Контрольные работы, индивидуальные задания, курсовая работа | Индивидуальные задания, курсовая работа. |

2 Компетенция ОПК-2

ОПК-2: Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий, и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции ОПК-2 и используемые средства оценивания

| 2. Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|--|--|---|
| Содержание этапов | Знать основные законы и характеристики осаждения и роста тонких пленок, особенности электропроводности металлических диэлектрических пленок. Знать механизмы пробоя МДМ-систем. | Уметь выявлять естественнонаучную причину отклонений от законов роста пленок, механизмов электропроводности и пробоя МДМ-систем | Владеть технологическими методами влияния на улучшение структуры пленок, их свойств и привлекать для этого соответствующий физико-математический аппарат |
| Виды занятий | Лекции; Практические занятия; Курсовая работа | Лекции; Практические занятия; Курсовая работа | Практические занятия; Курсовая работа |
| Используемые средства оценивания | Тесты на лекциях, Опрос на практических занятиях | Контрольные работы, индивидуальные задания, курсовая работа | Индивидуальные задания, курсовая работа |

3 Компетенция ПК-2

ПК- 2 - 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

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий, и используемые средства оценивания представлены в таблице 4.

Таблица 4– Этапы формирования компетенции ПК-2 и используемые средства оценивания

| 3. Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|--|
| Содержание этапов | Знать принципы работы основных приборов измерения характеристик пленок, применяемых в микро- и наноэлектронике | Уметь выбрать эффективную методику измерений и соответствующие приборы и устройства для исследования характеристик тонкопленочных структур | Владеть на практике методикой исследования тонкопленочных структур, используя при этом соответствующую аппаратуру |
| Виды занятий | Лекции; Практические занятия; Индивидуальные задания (ИЗ) | Лекции; Практические занятия; Индивидуальные задания; Курсовая работа | Практические занятия; Индивидуальные задания; Курсовая работа |
| Используемые средства оценивания | Тесты на лекциях; Опрос на практических занятиях; индивидуальные задания | Контрольные работы; Индивидуальные задания (ИЗ); Курсовая работа | Индивидуальные задания; Курсовая работа |

1. Компетенция ОПК-1 - способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам приведены в таблице 5

Таблица 5 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|--|---|--|--|
| Отлично (высокий уровень) | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует методику работы |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач | Работает при прямом наблюдении |

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции ОПК-1 приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|----------------------------------|---|--|--|
| Отлично (высокий уровень) | Знает основные законы роста и формирования структуры пленок, электрофизические свойства пленок, их зависимость от структуры | Умеет использовать законы физики и математики для оценки характеристик и свойств тонких пленок | Владеет различными методами оценки характеристик тонкопленочных структур |

| | | | |
|--|---|--|---|
| Хорошо (базовый уровень) | Знает факты, основные принципы влияния технологии на свойства проводящих, резистивных и диэлектрических пленок | Обладает диапазоном практических умений расчета свойств тонкопленочных структур | Владеет способностью завершить работу и сделать выводы на основе основных положений и законов естественных наук и математики |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Знает взаимосвязь между технологией и свойствами тонких пленок | Обладает основными умениями для оценки характеристик, получаемых тонкопленочных структур | Владеет способностью выполнять работу (расчеты) под наблюдением специалиста |

2. Компетенция ОПК-2 - Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам приведены в **таблице 7**.

Таблица 7 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|--|---|---|--|
| Отлично (высокий уровень) | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения | Работает при прямом наблюдении |

| | | | |
|--|--|---------------|--|
| | | простых задач | |
|--|--|---------------|--|

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции ОПК-2 приведена в таблице 8.

Таблица 8 - Характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|--|--|--|--|
| Отлично (высокий уровень) | Знает технологические параметры, влияющие на структуру и свойства тонкопленочных структур (ТПС) | Умеет выявлять основные технологические факторы, влияющие на характеристики пленок, провести численную оценку этого влияния | Владеет способностью выявлять сущность проблемы, возникшей в ходе исследования ТПС, и сделать предварительную оценку возможного изменения свойств пленок при изменении технологии или характера исследования. |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает основные проблемы, возникающие при изготовлении соответствующей ТПС | Умеет предвидеть, как изменение каких-либо технологических факторов может повлиять на свойства ТПС. | Владеет способностью количественной оценки влияния некоторых технологических факторов на свойства ТПС |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Понимает влияние некоторых технологических факторов на свойства ТПС | Обладает основными умениями для предварительного анализа свойств ТПС | Способен делать простейшие количественные оценки свойств |

3. Компетенция ПК-2 - 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

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|--|---|--|--|
| Отлично (высокий уровень) | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует методику работы |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач | Работает при прямом наблюдении |

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции ПК-2 приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|----------------------------------|---|---|--|
| Отлично (высокий уровень) | Знает основные методики исследований свойств тонких проводящих, резистивных и диэлектрических пленок | Умеет аргументировано выбрать нужную методику исследования свойств ТПС | Владеет на практике методиками экспериментальных исследований и соответствующей измерительной |

| | | | |
|--|---|--|---|
| | | | аппаратурой |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает факты, принципы экспериментального исследования параметров элементов ТПС | Обладает диапазонами практических умений экспериментального исследования ТПС | Владеет способностью самостоятельно решить некоторые проблемы, возникающие в ходе экспериментальных исследований |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями методов экспериментальных исследований ТПС | Умеет проводить простые исследования ТПС | Владеет способностью проводить исследования некоторых свойств ТПС под наблюдением специалиста |

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе: тесты, доклады и сообщения, практические задания, лабораторные работы, экзамен.

Типовые задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

3.1. Контрольные работы:

Тема контрольной работы № 1 – Влияние технологических параметров (температура подложки, скорость осаждения и т.п.) на рост и структуру тонких пленок.

Тема контрольной работы № 2 – Свойства тонких проводящих, резистивных и диэлектрических пленок в зависимости от толщины и структуры этих пленок.

3.2. Индивидуальные задания:

Индивидуальное задание № 1 – Расчет необходимых технологических параметров для получения пленок заданного состава и структуры.

Индивидуальное задание № 2 – Расчет вольтамперных характеристик (ВАХ), температурного коэффициента сопротивления (ТКС), электрической прочности МДМ-структур, для проводящих, резистивных, диэлектрических пленок различной толщины.

Полный перечень контрольных работ и индивидуальных заданий представлен в УМП: Смирнова К.И. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направления «Электроника и нанoeлектроника» (бакалавриат).-Томск:ТУСУР, 2013.-49 с. - [электронный ресурс] – <http://miel.tusur.ru/>

3.3. Курсовая работа:

Примерные темы курсовых работ представлены в УМП: Смирнова К.И. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов направления «Электроника и нанoeлектроника».-Томск:ТУСУР, 2013.-25 с. - [электронный ресурс] – <http://miel.tusur.ru/>

3.4. Тесты на лекциях и практических занятиях по следующим разделам:

- 1) Влияние технологических факторов на рост и структуру: а) металлических; б) резистивных; в) диэлектрических пленок.
- 2) Влияние технологических факторов на свойства: а) электропроводность; б) температурный коэффициент сопротивления; в) электрическую прочность тонких пленок.

3.5. Темы практических занятий:

- 1) Расчет необходимых температуры подложки и скорости осаждения атомов для конденсации пленок;
- 2) Расчет необходимой критической концентрации зародышей для начала роста пленок;
- 3) Расчет давления газа в камере для получения диэлектрических пленок при реактивном испарении или распылении;
- 4) Расчет: а) электропроводности тонких островковых пленок, б) ВАХ диэлектрических пленок при различных механизмах проводимости: туннельном, эффекте Шоттки и Френкеля, ТОПЗ.
- 5) Влияние толщины пленок (размерный эффект) на электропроводность, ТКС проводящих и резистивных пленок;
- 6) Расчет удельного сопротивления и ТКС для пленок-керметов.

3.6. Экзамен

3.6.1. Примеры экзаменационных вопросов

1. Критическая плотность потока пара;

2. Влияние температуры подложки на механизм конденсации: механизмы ПЖК и ПЖ (А), ПК;
3. Критический зародыш, критическое значение концентрации зародышей на подложке;
4. Вывод выражения для концентрации адсорбированных атомов через давление остаточного газа;
5. Температура эпитаксии
6. Влияние толщины пленки на удельное сопротивление;
7. Туннельный эффект в островковых пленках;
8. Резистивные пленки металлов, сплавов, соединений;
9. Композиции на основе металлов и диэлектриков. Керметы;
10. Диэлектрическая проницаемость и $tg\delta$ диэлектрических пленок: зависимость от толщины и частоты;
11. Токи в диэлектриках, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ);
12. Надбарьерная эмиссия Шоттки в диэлектрических пленках;
13. Электропроводность диэлектрических пленок, обусловленная эффектом Френкеля;
14. Зависимость электрической прочности диэлектрических пленок от толщины;
15. Зависимость электрической прочности МДМ-систем от времени воздействия напряжения.

4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

4.1 Основная литература

4.1.1. К.И.Смирнова. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебное пособие. Томск: ТУСУР, 2012.- 110 с. (50 экз.) - [электронный ресурс] – <http://miel.tusur.ru/>

4.2 Дополнительная литература

4.2.1. Физика тонких пленок. Том 4. Сб. статей под общей редакцией Г. Хасса и Р.Э.Туна, М.: «Мир», 1970. – 440 с. (7 экз.)

4.2.2. Физика тонких пленок. Том 8. Сб. статей под общей редакцией Г. Хасса, М. Франкомба и Р.Гофмана, М.: «Мир», 1978. – 359 с. (5 экз.)

4.2.3. Технология тонких пленок. Справочник. Том 1,2. –М.: Сов. радио, Т.1, 1977.- 664 с. (13 экз.), Т.2, 1977. -768 с. (14 экз.)

4.2.4. Г.А.Воробьев, В.А.Мухачев. Пробой тонких диэлектрических пленок. – М.:«Советское радио», 1977.- 70 с. (36 экз.)

4.2.5. Электропроводность тонких диэлектрических пленок. – Учебное пособие: Ленинградский политехнический институт им. М.И.Калинина, 1981.- 55 с. (4 экз.)

4.2.6. Б.А.Бочкарев, В.А.Бочкарева. Керметные пленки.:«Энергия», Ленинградское отд., 1975.- 152 с. (2 экз.)

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

4.3.1. К.И.Смирнова. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки «Нанотехнологии и микросистемная техника» и «Электроника и наноэлектроника».- Томск:ТУСУР, 2013.- 25 с. (30 экз.) - [электронный ресурс] - <http://miel.tusur.ru/>

4.3.2. К.И.Смирнова. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направления подготовки «Нанотехнологии и микросистемная техника» и «Электроника и наноэлектроника».-Томск:ТУСУР, 2013.- 49 с. (50 экз.) - [электронный ресурс] - <http://miel.tusur.ru/>

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации лекционных и практических занятий необходимы: компьютер с установленным программным обеспечением (п.12.3), проектор и экран.