

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета

_____ А.Г. Коротаяев

08 июня 2018 г.

Рабочая программа дисциплины

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Направление подготовки

03.04.03 Радиофизика

Профиль подготовки

Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Форма обучения

Очная

1. Код и наименование дисциплины

Б1.В.ДВ.01.01.01 – Анализ и моделирование полупроводниковых структур.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Относится к дисциплинам по выбору вариативной части ООП, входит в модуль «Функциональная электроника», обязательна для изучения.

3. Год и семестр обучения

Второй год, третий семестр.

4. Входные требования для освоения дисциплины

Наличие у студента компетенций, сформированных при освоении дисциплин: «Физика», «Физика полупроводников», «Полупроводниковая электроника» бакалаврской подготовки.

5. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, из которых 50 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (20 часов – занятия лекционного типа, 20 часов – семинары, 10 часов – практические занятия), 94 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формат обучения

Очный.

7. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

| Формируемые компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|-------------------------|--|
| ОПК-3, II уровень | УМЕТЬ анализировать базовые знания в области радиофизики с целью применения их в научной и профессиональной деятельности У(ОПК-3)-II . |
| ОПК-4, II уровень | УМЕТЬ применять информационные технологии и вычислительную технику для решения научно-исследовательских задач в области связи, передачи, приема и обработки информации У(ОПК-4)-II ; ВЛАДЕТЬ навыками использования программных продуктов и ресурсов сети для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки В(ОПК-4)-II . |
| ПК-2, III уровень | ЗНАТЬ достижения в области проектирования аппаратных и программных компонентов телекоммуникационных систем, систем связи, передачи, приема и обработки информации З(ПК-2)-III . |

8. Содержание дисциплины и структура учебных видов деятельности

Таблица 8.1

| № | Наименование разделов и тем | Всего (час.) | Контактная работа (час.) | | | Самостоятельная работа (час.) |
|---|-------------------------------|--------------|--------------------------|----------|----------------------|-------------------------------|
| | | | Лекции | Семинары | Практические занятия | |
| 1 | Современные методы численного | 16 | 3 | 3 | - | 10 |

| | | | | | | |
|---|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | моделирования полупроводниковых устройств. | | | | | |
| 2 | Особенности численного моделирования полупроводниковых устройств средствами TCAD Sentaurus. | 18 | 4 | 4 | - | 10 |
| 3 | Структура и принцип работы <i>pHEM</i> -транзистора. | 19 | 3 | 3 | 5 | 8 |
| 4 | Технологические операции применяемые при производстве <i>HEM</i> -транзисторов. | 20 | 5 | 5 | - | 10 |
| 5 | Анализ выходных статических характеристик <i>pHEM</i> -транзистора. | 19 | 3 | 3 | 3 | 10 |
| 6 | Анализ частотных характеристик <i>pHEM</i> -транзистора. | 16 | 2 | 2 | 2 | 10 |
| 7 | Подготовка к экзамену. | 36 | | | | 36 |
| | Итого | 144 | 20 | 20 | 10 | 94 |

Содержание разделов дисциплины

Таблица 8.2

| № | Раздел дисциплины | Содержание раздела дисциплины |
|---|---|---|
| 1 | Современные методы численного моделирования полупроводниковых устройств. | Современные пакеты моделирования полупроводниковых приборов используемые в современном производстве. |
| 2 | Особенности численного моделирования полупроводниковых устройств средствами TCAD Sentaurus. | Описание топологии полупроводниковых приборов. Выбор и размещение сетки расчетов. Выбор и использование физических моделей протекающих электрофизических процессов. |
| 3 | Структура и принцип работы <i>pHEM</i> -транзистора | Типы <i>HEM</i> -транзисторов. Энергетическая диаграмма <i>HEM</i> -транзистора. Образование двумерного электронного газа. Формирование барьерных и омических контактов. Особенности моделирования <i>HEM</i> -транзисторов. |
| 4 | Технологические операции применяемые при производстве <i>HEM</i> -транзисторов. | Методы нанесения металлизации. Методы нанесения диэлектрических слоев. Фотолитография. Методы травления. |
| 5 | Анализ выходных статических характеристик <i>pHEM</i> -транзистора | Выходные статические характеристики <i>HEM</i> -транзистора. Передаточные характеристики <i>HEM</i> -транзистора. Пороговое напряжения. Крутизна. Коэффициенты усиления. Особенности моделирования выходных статических характеристик <i>HEM</i> -транзисторов. |

| | | |
|---|---|--|
| 6 | Анализ частотных характеристик <i>pHEM</i> -транзистора | Частотные характеристики <i>pHEM</i> -транзистора. Частота отсечки. Коэффициенты усиления. Диаграмма Смитта. Особенности моделирования частотных характеристик <i>HEM</i> -транзисторов. |
|---|---|--|

9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

9.1. Контрольные вопросы для самостоятельной работы

1. Физический смысл эффективной массы и подвижности носителей заряда.
2. Уравнения непрерывности для электронов и дырок.
3. Принципы построения зонной диаграммы гетероперехода. Образование потенциальной ямы на гетерогранице.
4. Уравнение Пуассона. Решение уравнения Пуассона на примере линейного *p-n* перехода.
5. Основные технологические операции применяемые в полупроводниковой элеткронике.
6. Образование двумерного электронного газа в *HEMT*-структурах.
7. От чего зависит величина тока насыщения выходной статической ВАХ *HEM*-транзистора?
8. В чем отличия *HEM*-транзистора от биполярного и полевого транзисторов?
9. Преимущества и недостатки *HEM*-транзистора.
10. Дать определение нормально закрытого и нормально открытого транзистора.
11. Что такое частота отсечки и от чего она зависит?
12. Что такое пороговое напряжение?
13. Передаточная характеристика полевого транзистора.
14. Крутизна.
15. Коэффициент усиления по току полевого транзистора.
16. Коэффициент усиления по мощности полевого транзистора.
17. Коэффициенты усиления полевого транзистора при приложении переменного сигнала.
18. Опишите основные этапы численного моделирования электрофизических характеристик полупроводниковых устройств средствами программного обеспечения TCAD Sentaurus.
19. Особенности формирования расчетной сетки при моделировании *HEM*-транзистора.
20. Перечислить модели расчета переноса носителей заряда в полупроводниковых слоях и на гетерограницах, реализуемых в современных программах расчета.

9.2. Темы семинарских занятий

1. Типы *HEM*-транзисторов.
2. Формирование барьерных и омических контактов.
3. Энергетический спектр электронов в кристалле.
4. Образование двумерного электронного газа.
5. Диффузия и дрейф основных носителей заряда. Длина экранирования.
6. Передаточные характеристики *HEM*-транзистора.
7. Пороговое напряжение. Крутизна.
8. Коэффициенты усиления.
9. Частота отсечки. Коэффициенты усиления.
10. Диаграмма Смитта.

11. Особенности формирования расчетной сетки.
12. Выбор модели расчета переноса носителей заряда.

9.3. Темы практических занятий

1. Моделирование топологии *HEM*-транзистора.
2. Формирование неоднородной сетки расчета и распределения примеси в структуре.
3. Моделирование выходных статических характеристик *pHEM*-транзистора.
4. Анализ полученных выходных статических характеристик *pHEM*-транзистора.
5. Моделирование частотных характеристик *pHEM*-транзистора.
6. Анализ полученных частотных характеристик *pHEM*-транзистора.

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- познакомиться со структурой курса, используя рабочую программу;
- накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей, используя записи лекции;
- изучать теоретический материал по учебникам и конспекту;
- регулярно готовиться к семинарам, практическим и лабораторным занятиям;
- работать с литературой в библиотеке.

10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств

Форма промежуточной аттестации – экзамен в третьем семестре.

Фонд оценочных средств даётся в приложении и включает:

- перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, и их карты;
- контрольные вопросы по дисциплине;
- вопросы к экзамену по дисциплине;
- вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения.

11. Ресурсное обеспечение:

Основная учебная литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник: [для студентов физических и технических специальностей] / К.В. Шалимова. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2016. - 390 с.
2. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2015. – 463 с.
3. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие для студентов вузов. – 9-е изд., стер. – СПб: Лань, 2015. – 480 с.
4. Новиков В.А. Практическое руководство по моделированию полупроводниковых приборов средствами TCAD Sentaurus: Методическое пособие. – Томск. – 140 с.

Дополнительная литература

1. Василевский А.С. Физика твердого тела: [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям] / А. С. Василевский. - Москва: Дрофа, 2010. - 206 с.
2. Твердотельная электроника: учебное пособие для студентов вузов / Э.Н. Воронков, Н.А. Чарыков, И.Н. Мирошникова, А.М. Гуляев. - М.: Академия, 2009. - 317, [1] с.
3. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2008. – 488 с.

URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000341929/000341929.pdf>

4. Synopsys Sentaurus Device User Guide. 2010, – 1284p.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет

1. Учебно-контролирующий комплекс по электротехническим материалам [Электрон. ресурс] / Кафедра ФЭМАЭК, МЭИ, 2006. – Электрон. дан. – URL: <http://ftek.mpei.ac.ru/ukk/ukk.htm>, доступ свободный.

2. Физика твердого тела: [26 книг в PDF-формате]. - Москва: Регулярная и хаотическая динамика, 2004. - 1 CD-ROM- (Электронная библиотека).

3. Транзисторы. – [Электрон. ресурс]: учебное пособие. – Электрон. дан. – Московский государственный технический университет «МАМИ», кафедра «Автоматика и процессы управления». – URL: <http://www.mami.ru/kaf/aipu/theme2.php>, доступ свободный

4. Воронков Э.Н. и др. Твердотельная электроника [Электрон. ресурс]: автоматизир. учебный курс. – Электрон. дан. – М: Центр системной интеграции ГосНИИСи в МЭИ (ТУ), 2002. – URL: <http://www.pilab.ru/csi/AUK/Microelectr/E&m.asp>, доступ свободный.

5. Электронный каталог НБ ТГУ
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query;jsessionid=14951D8383CFEC296D217748CE74DBEB?theme=system>

Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Пакет программ TCAD Sentaurus или его аналог;
мультимедиа презентации с использованием пакетов MS Office.

Описание материально-технической базы

Освоение дисциплины обеспечено наличием компьютерных классов с необходимым программным обеспечением, мультимедийным оборудованием и выходом в Интернет. В число их входит компьютерный класс с программным обеспечением TCAD Sentaurus или его аналогом.

12. Язык преподавания

Русский.

13. Преподаватели:

кандидат физико-математических наук Новиков Вадим Александрович.

Авторы:

кандидат физико-математических наук Новиков Вадим Александрович.

Рецензент – доктор физико-математических наук, профессор В.П. Гермогенов.

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии радиофизического факультета 07 июня 2018 года, протокол № 6/18.

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

_____ О.П. Толбанов

04 июня 2018 г.

**Фонд оценочных средств
для изучения учебной дисциплины**

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Направление подготовки
03.04.03 Радиофизика

Профиль подготовки
Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная

1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина

В результате освоения дисциплины «Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники» у обучающегося формируются следующие компетенции:

- ОПК-3, II уровень:

УМЕТЬ анализировать базовые знания в области радиофизики с целью применения их в научной и профессиональной деятельности **У(ОПК-3)-II;**

- ОПК-4, II уровень:

УМЕТЬ применять информационные технологии и вычислительную технику для решения научно-исследовательских задач в области связи, передачи, приема и обработки информации **У(ОПК-4)-II;**

ВЛАДЕТЬ навыками использования программных продуктов и ресурсов сети для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки **В(ОПК-4)-II;**

- ПК-2, III уровень:

ЗНАТЬ достижения в области проектирования аппаратных и программных компонентов телекоммуникационных систем, систем связи, передачи, приема и обработки информации **З(ПК-2)-III.**

2. Карты компетенций

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ ОПК-3: Способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Общепрофессиональная компетенция выпускника программы магистратуры «**Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники**» по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

- **ЗНАТЬ:** основы фундаментальных разделов физики и радиофизики в объёме бакалаврской подготовки
- **УМЕТЬ:** анализировать базовые знания в области физики и радиофизики,
- **ВЛАДЕТЬ:** технологиями приобретения и обновления знаний, необходимых для решения научно-исследовательских задач в выбранной области научной деятельности

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-3 И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

| Уровень освоения компетенции | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции) | Критерии оценивания результатов обучения | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Продвинутый уровень (ОПК-3)-II | УМЕТЬ анализировать базовые знания в области радиофизики с целью применения их в научной и профессиональной деятельности У(ОПК-3)-II. | Не умеет. | Демонстрирует фрагментарное умение анализировать базовые знания в области физики твёрдого тела и твердотельной электроники. | Демонстрирует в целом достаточное, но неглубокое умение анализировать базовые знания в области физики твёрдого тела и твердотельной электроники. | Демонстрирует вполне сформированное, но с отдельными недостатками умение анализировать и применять базовые знания в области физики твёрдого тела и твердотельной электроники. | Демонстрирует полноценно сформированное умение анализировать и применять базовые знания в области физики твёрдого тела и твердотельной электроники. |

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ: ОПК-4. Способность к свободному владению профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, использованию современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Общепрофессиональная компетенция выпускника программы магистратуры «Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники» по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика.

ВХОДНОЙ УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ:

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

- **ЗНАТЬ:** принципы работы в сети Интернет в объёме требований бакалаврской подготовки.
- **УМЕТЬ:** использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы Интернет.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками работы в современных компьютерных сетях.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ JGR-4 И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

| Уровень освоения компетенции | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции) | Критерии оценивания результатов обучения | | | | |
|---------------------------------------|---|---|--|--|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Продвинутый уровень (ОПК-4)-II | УМЕТЬ применять информационные технологии и вычислительную технику для решения научно-исследовательских задач в области связи, передачи, приема и обработки информации У(ОПК-4)-II. ВЛАДЕТЬ навыками использования | Ограниченные знания, слабо сформированные навыки и умения | Фрагментарные знания, частично освоенные навыки и умения | Общие, но не структурированные знания; в целом успешно применяемые навыки и умения | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания; успешно применяемые навыки и умения | Сформированные системные знания; сформированные навыки и умения; их успешная актуализация |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | программных продуктов и ресурсов сети для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки В(ОПК-4)-П. | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ: ПК-2. Способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Профессиональная компетенция выпускника программы магистратуры «Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники» по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика.

ВХОДНОЙ УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ:

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные методы научно-исследовательской деятельности;
- **УМЕТЬ:** использовать имеющиеся знания для интерпретации и оценки результатов теоретических и экспериментальных исследований;
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ GR-2 И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

| Уровень освоения компетенции | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции) | Критерии оценивания результатов обучения | | | | |
|-----------------------------------|--|---|--|--|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Высокий уровень (ПК-2)-III | ЗНАТЬ достижения в области проектирования аппаратных и программных компонентов телекоммуникационных систем, систем связи, передачи, приема и обработки информации З(ПК-2)-III. | Ограниченные знания, слабо сформированные навыки и умения | Фрагментарные знания, частично освоенные навыки и умения | Общие, но не структурированные знания; в целом успешно применяемые навыки и умения | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания; успешно применяемые навыки и умения | Сформированные системные знания; сформированные навыки и умения; их успешная актуализация |

3. Этапы формирования компетенций

| Этапы формирования компетенций | Виды занятий | Формируемые компетенции | Способы оценивания |
|--|--|---------------------------------------|---|
| Изучение статических и динамических выходных характеристик полупроводниковых полевых транзисторов. | лекции, самостоятельная работа | У(ОПК-3)-II, З(ПК-2)-III | Коллоквиум по 1-й части теоретического курса. |
| Изучение основных технологических операций применяемых в полупроводниковой электронике. | семинарские занятия, самостоятельная работа | У(ОПК-3)-II, З(ПК-2)-III | Доклады на семинарах, устный опрос. |
| Моделирование параметров и характеристик НЕМ-транзистора. | практические занятия, самостоятельная работа | У(ОПК-4)-II, В(ОПК-4)-II | Выполнение индивидуальных и контрольного задания. |
| Подготовка к промежуточной аттестации. | самостоятельная работа | У(ОПК-3)-II, В(ОПК-4)-II, З(ПК-2)-III | Устный экзамен. |

4. Оценочные средства

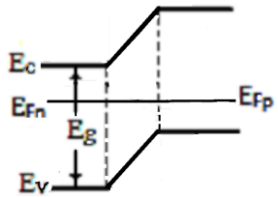
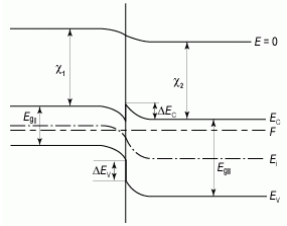
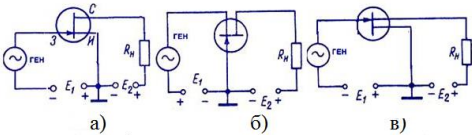
4.1. Контрольные вопросы по дисциплине

1. Физический смысл эффективной массы и подвижности носителей заряда.
2. Уравнения непрерывности для электронов и дырок.
3. Принципы построения зонной диаграммы гетероперехода. Образование потенциальной ямы на гетерогранице.
4. Уравнение Пуассона. Решение уравнения Пуассона на примере линейного p-n перехода.
5. Основные технологические операции применяемые в полупроводниковой электронике.
6. Образование двумерного электронного газа в *HEMT*-структурах.
7. От чего зависит величина тока насыщения выходной статической ВАХ *HEM*-транзистора?
8. В чем отличия *HEM*-транзистора от биполярного и полевого транзисторов?
9. Преимущества и недостатки *HEM*-транзистора.
10. Дать определение нормально закрытого и нормально открытого транзистора.
11. Что такое частота отсечки и от чего она зависит?
12. Что такое пороговое напряжение?
13. Передаточная характеристика полевого транзистора.
14. Крутизна.
15. Коэффициент усиления по току полевого транзистора.
16. Коэффициент усиления по мощности полевого транзистора.
17. Коэффициенты усиления полевого транзистора при приложении переменного сигнала.
18. Опишите основные этапы численного моделирования электрофизических характеристик полупроводниковых устройств средствами программного обеспечения *TCAD Sentaurus*.
19. Особенности формирования расчетной сетки при моделировании *HEM*-транзистора.
20. Перечислить модели расчета переноса носителей заряда в полупроводниковых слоях и на гетерограницах, реализуемых в современных программах расчета.

4.2. Вопросы к экзамену по дисциплине

1. Образование двумерного электронного газа в *HEMT*-структурах.
2. Вольт-амперная характеристика *HEM*-транзистора.
3. Коэффициенты передачи *HEM*-транзистора.
4. Частота отсечки.
5. Образование потенциальной ямы на гетерогранице.
6. Дрейфово-диффузионная модель переноса носителей заряда.
7. Передаточная характеристика полевого транзистора.
8. Литография.
9. Методы напыления металлических пленок.
10. Методы создания диэлектрических слоев используемые в полупроводниковой электронике.
11. Эпитаксиальный рост.
12. Коэффициенты передачи при приложении переменного сигнала.

4.3. Вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине

| № | Вопрос | Варианты ответа |
|----|---|---|
| 1 | На каком из рисунков показан гетерогенный $p-n$ -переход? |  <p>а)</p>  <p>б)</p> |
| 2. | Какое из выражений описывает крутизну? | <p>Выберите один ответ:</p> <p>а) $g = dI_D/dU_G$ при $U_D = \text{const.}$ б) $g = dI_D/dU_D$ при $U_G = \text{const.}$ в) затрудняюсь ответить.</p> |
| 3. | Какое из выражений описывает проводимость канала? | <p>Выберите один ответ:</p> <p>а) $g = dI_D/dU_G$ при $U_D = \text{const.}$ б) $g = dI_D/dU_D$ при $U_G = \text{const.}$ в) затрудняюсь ответить.</p> |
| 4. | На каком из рисунков изображена схема включения транзистора с общим стоком. | <p>Выберите один или несколько ответов:</p> <p>а) б) в) г) затрудняюсь ответить.</p>  <p>а) б) в)</p> |
| 5. | Какое из уравнений описывает максимальную рабочую частоту полевого транзистора? | <p>а) $f = g_m / (2\pi C)$. б) $f = g_m C / (2\pi)$ в). $f = I_D / (2\pi U_G)$</p> |
| 6. | Двумерный электронный газ – это | <p>а) электронный газ, в котором частицы могут двигаться свободно только в двух направлениях. б) электронный газ в объеме полупроводника. в) электронный газ, в котором частицы могут двигаться свободно только в двух направлениях, а в третьем они помещены в энергетическую потенциальную яму. г) электронный газ, в котором частицы могут двигаться свободно только в одном направлении, а в двух других они ограничены энергетической потенциальной ямой.</p> |

7. Выберите правильный маршрут моделирования полупроводникового прибора средствами TCAD Sentaurus:

а) SNMESH->SDEVICE-> SDEVICE.
 б) SDEVICE ->SDE->SNMESH.
 в) SDE->SNMESH->SDEVICE.
 г) SDEVICE ->SNMESH ->SDE.

8. Выберите изображение полевого транзистора:

а)

б)

в)

г)

| | | |
|-----|----------------------|--|
| 9. | Фотолитография – это | а) метод напыления металлических пленок. б) метод получения определённого рисунка на поверхности материала. в) процесс выращивания тонких пленок из газовой фазы. |
| 10. | Эпитаксия – это | а) это закономерное нарастание одного кристаллического материала на другом. б) формирование пленки собственного окисла на поверхности кристалла. в) метод получения определённого рисунка на поверхности материала. г) метод выращивания объемных кристаллов из расплава. |

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков

5.1. Текущие аттестации

Текущая аттестация по первой части теоретического курса проводится в виде коллоквиума, результаты которого учитываются при проведении устного экзамена. В качестве вопросов к коллоквиуму используются вопросы из подраздела 4.2 («Вопросы к экзамену по дисциплине»). Оценка коллоквиума формируется на основании критериев оценивания из соответствующих карт компетенций (см. таблицу 5.1).

Таблица 5.1 – Формирование оценки результатов коллоквиума

| Оценка | Критерии оценивания из карт компетенций | |
|---------------------|---|-------------|
| | У(ОПК-3)-II | З(ПК-2)-III |
| Отлично | 5 | 5 |
| | 5 | 4 |
| | 4 | 5 |
| Хорошо | 4 | 4 |
| | 4÷5 | 3 |
| | 3 | 4÷5 |
| Удовлетворительно | 3 | 3 |
| Неудовлетворительно | Все остальные варианты | |

Текущая аттестация по семинарским занятиям проводится в виде заслушивания выступлений студентов по темам семинарских занятий и устных опросов. Оценка аттестации формируется на основании критериев оценивания из соответствующих карт компетенций (см. таблицу 5.2).

Таблица 5.2 – Формирование оценки по результатам семинаров

| Оценка | Критерии оценивания из карт компетенций | |
|---------------|---|-------------|
| | У(ОПК-3)-II | З(ПК-2)-III |
| Аттестован | 3÷5 | 3÷5 |
| Не аттестован | Все остальные варианты | |

Текущая аттестация по практическим занятиям включает выполнение индивидуальных заданий по всем темам занятий и выполнение контрольного задания. Все задания выполняются с использованием пакета программ *TCAD Sentaurus* (или его аналога). Конкретное содержание заданий формируется в соответствии с темами практических занятий. Оценка аттестации производится на основе таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Текущая аттестация по практическим занятиям

| Оценка | Критерии оценивания из карт компетенций | |
|---------------|---|-------------|
| | У(ОПК-4)-II | В(ОПК-4)-II |
| Аттестован | 3÷5 | 3÷5 |
| Не аттестован | Все остальные варианты | |

5.2. Промежуточная аттестация по дисциплине

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме устного экзамена по теоретическому материалу. К экзамену допускаются только студенты, успешно

прошедшие текущие аттестации по семинарам и практическим занятиям.

Каждый билет для устного экзамена состоит из двух теоретических вопросов по двум темам дисциплины. В случае успешной сдачи коллоквиума по первой части курса билет для экзамена содержит один теоретический вопрос. В качестве дополнительных вопросов на устном экзамене используются контрольные вопросы по дисциплине.

Оценка успеваемости студента формируется в соответствии с таблицей 5.3.

Таблица 5.3 – Промежуточная аттестация по дисциплине

| Оценка | Критерии оценивания из карт компетенций | | |
|---------------------|---|-------------|-------------|
| | У(ОПК-3)-II | В(ОПК-4)-II | З(ПК-2)-III |
| Отлично | 5 | 5 | 5 |
| | 5 | 5 | 4 |
| | 5 | 4 | 5 |
| | 4 | 5 | 5 |
| Хорошо | 5 | 4 | 4 |
| | 4 | 5 | 4 |
| | 4 | 4 | 5 |
| | 4 | 4 | 4 |
| | 4÷5 | 4÷5 | 3 |
| | 4÷5 | 3 | 4÷5 |
| | 3 | 4÷5 | 4÷5 |
| Удовлетворительно | 4÷5 | 3 | 3 |
| | 3 | 4÷5 | 3 |
| | 3 | 3 | 4÷5 |
| | 3 | 3 | 3 |
| Неудовлетворительно | Все остальные варианты | | |