

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталева В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физика полупроводниковых приборов

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, профиль:
Микроэлектроника и микроэлектроника

Курс: 4, семестр : 7

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	7
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	7
2	Всего часов	252
3	Всего занятий в контактной форме, час.	107
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	36
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	16
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	15
10	Самостоятельная работа, час.	145
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	КП контр.
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

ФГОС введен в действие приказом №218 от 12.03.2015 г. , дата утверждения: 07.04.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

старший преподаватель, Калинин С. В.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; в части следующих результатов обучения:	
38. туннельный эффект;	
Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:	
у2. умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	
Компетенция ФГОС: ОПК.3 способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей; в части следующих результатов обучения:	
32. эквивалентные схемы активных элементов	
Компетенция ФГОС: ПК.1 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; в части следующих результатов обучения:	
37. основы физики твердого тела, принципы использования физических эффектов в твердом теле в приборах и устройствах оптической электроники;	
у7. уметь формировать математические модели на функциональном уровне	
Компетенция ФГОС: ПК.2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; в части следующих результатов обучения:	
у6. определять надежность, стабильность и воспроизводимость характеристик твердотельных объектов или приборов при наличии внешних воздействий	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
Физика полупроводниковых приборов	
ПК.1.37 основы физики твердого тела, принципы использования физических эффектов в твердом теле в приборах и устройствах оптической электроники;	
1.об основных физических особенностях и моделях для микро и наноструктур	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
2.об современных элементной базе, используемой в СБИС и УБИС	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у7 уметь формировать математические модели на функциональном уровне	
3.о фундаментальной системе уравнений полупроводникового прибора	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.1.38 туннельный эффект;	
4.Понятийный аппарат (терминологию) дисциплины	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.у6 определять надежность, стабильность и воспроизводимость характеристик твердотельных объектов или приборов при наличии внешних воздействий	
5.Физику и особенности интегральных полупроводниковых резисторов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

6. Физику р-п-перехода и полупроводниковых диодов	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
7. Физику перехода металл-полупроводник и диодов Шоттки	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
8. Физику взаимодействующих переходов в биполярной структуре и планарных биполярных транзисторов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
9. Физику гетеропереходов и гетероструктурных биполярных транзисторов.	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
10. Физику МДП-структуры и МОП-транзисторов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
11. Физику ПТУП, MeSFET, HEMT	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.3.32 эквивалентные схемы активных элементов	
12. Численно вычислять основные параметры полупроводниковых интегральных резисторов, диодов и транзисторов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.37 основы физики твердого тела, принципы использования физических эффектов в твердом теле в приборах и устройствах оптической электроники;	
13. Анализировать принципы действия современных транзисторов с помощью зонных диаграмм	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.2.у2 умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	
14. Применения математических моделей для исследования анализа элементной базы СБИС и УБИС	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.у6 определять надежность, стабильность и воспроизводимость характеристик твердотельных объектов или приборов при наличии внешних воздействий	
15. Применения экспериментальных методик для определения ВАХ и параметров элементной базы СБИС	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 7				
Дидактическая единица: Общие вопросы физики полупроводниковых приборов				

1. Фундаментальная система уравнений полупроводникового прибора и ее применение	0	4	1, 2, 3, 4	Проводимость и сопротивление полупроводников. Дифференциальный закон Ома. Диффузионный и дрейфовый ток в полупроводниках. Связь с квазиуровнями Ферми. Основные состояния полупроводникового прибора и его фундаментальная система уравнений. Применение ФСУ при анализе работы прибора: релаксация фотовозбужденных носителей; односторонняя световая засветка в полупроводниковой пластине. Полупроводниковые резисторы. Эффективная ширина. Математическая модель сопротивления тонкопленочного полупроводникового резистора
Дидактическая единица: Физика контактных структур и приборы на их основе				

2. Гомопереходы	0	6	10, 2, 4, 5, 6, 7, 9	Контактная разность потенциалов в гомопереходах. Область пространственного заряда (ОПЗ) р-п-переходов с произвольным профилем легирования. Барьерная емкость р-п- перехода и нахождение профиля легирования одностороннего р-п- перехода по ВФХ. Условия Шокли на границах р-п- перехода в равновесии и при его смещении. Явления инжекции и экстракции в р-п-переходе. Концентрационная краевая задача для идеального р-п- перехода. Диоды с длинной и короткой базами. Формула Шокли для ВАХ идеального р-п- перехода. Влияние температуры на ВАХ идеального р-п- перехода и формула удвоения. Диффузионная емкость р-п-перехода. Частотные свойства р-п- перехода. Влияние генерации неосновных носителей в ОПЗ р-п- перехода на его обратный ток. Влияние рекомбинации неравновесных носителей в ОПЗ р-п- перехода на его прямой ток. Влияние на ВАХ диода объемного сопротивления базы. Тепловой пробой р-п- перехода, участок Лосева и кристадин. Туннельный пробой в р-п-переходах (пробой Зенера) Лавинный пробой в р-п-переходе.
3. Переход металл-полупроводник	0	4	2, 4, 7	Гипотеза Шоттки. Электрофизические свойства контактов Шоттки. Диоды Шоттки. Омический контакт и удельное контактное сопротивление
Дидактическая единица: Физика биполярных структур и приборы на их основе				

4. Планарные биполярные транзисторы	0	6	12, 2, 4, 8	Физические процессы в биполярном транзисторе (БТ). Зонная диаграмма, распределение полей и потенциалов в биполярной структуре. Инжекционная модель Эберса-Молла. Соотношение обратимости. Передаточная форма модели Эберса-Молла. Модель Логана. Распределение концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ. Анализ входных характеристик БТ на основе эффекта Эрли. Физическая модель Эберса-Молла. Предельные параметры БТ и эффекты их определяющие. Частотные параметры и характеристики БТ.
5. Гетероструктурные биполярные транзисторы	0	2	12, 2, 4, 9	Гетеропереход. Зонная диаграмма и физические свойства. Некремниевые гетеропереходные биполярные транзисторы. Варизонные БТ с базой из Si-Ge.
Дидактическая единица: Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов				
6. Физические свойства МДП-структуры	0	6	10, 12, 15, 2, 4	Идеальная МДП-структура и три ее основных состояния. Особенности вольт-фарадных характеристик идеальной МДП-структуры. Анализ емкостей и зарядов в идеальной МДП-структуре. Пороговое напряжение и потенциал инверсии для идеальной МДП-структуры. Влияние смещения подложки на пороговое напряжение МДП-структуры. Физические особенности реальных МДП-структур. Напряжение плоских зон и разность работ выхода. Системы зарядов в двуокиси кремния и их влияние на напряжение плоских зон. ВХФ реальной МДП-структуры. Классификация состояний МДП-структуры на основе понятия поверхностного потенциала.

7. Физика МОП-транзисторов (MOSFET)	0	4	10, 12, 13, 15, 2, 4	Физические процессы в МОПТ и их влияние на ВАХ МОПТ. Интегральные МОПТ самосовмещенным затвором. Простейшая теория ВАХ МДП-транзисторов. Модель Шихмана-Ходжеса с учетом влияния смещения подложки.
Дидактическая единица: Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п- переходами и барьерами Шоттки				
8. ПТУП, MeSFET, HEMT	0	4	11, 12, 13, 15, 2, 4	Физические процессы в ПТУП, их влияние на ВАХ и модель ПТУП. Полевые транзисторы с затвором Шоттки (MeSFET). Конструкция, физические особенности и принцип действия ПТ с высокой подвижностью электронов (HEMT)

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 7				
Дидактическая единица: Физика контактных структур и приборы на их основе				
1. Температурная зависимость параметров полупроводниковых диодов	4	4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Цель работы заключается в установлении соответствия между реальными и теоретическими температурными характеристиками различных полупроводниковых диодов и их взаимосвязи с параметрами полупроводниково-вых материалов. Содержанием работы является исследование зависимости статических ВАХ диодов от температуры окружающей среды. В работе снимаются температурные зависимости обратных токов и прямых напряжений диодов, изготовленных из разных материалов и определяются параметры их температурных характеристик.
Дидактическая единица: Физика биполярных структур и приборы на их основе				

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭБЕРСА-МОЛЛА ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА	4	4	1, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4, 8, 9	Цель работы заключается в измерении статических ВАХ биполярного транзистора (БТ) и определение по ним статических параметров инжекционной модели Эберса-Молла (Э-М) для БТ. В работе снимаются входные, выходные и передаточные характеристики БТ в схеме с ОЭ. По передаточным характеристикам для режимов нормального и инверсного включения определяются соответствующие коэффициенты передачи тока. Для нахождения остальных параметров модели Э-М измеряются нормальные и инверсные входные характеристики БТ для схемы с ОБ в режиме холостого хода (при обрыве третьего электрода). По полученным характеристикам определяются значения токов насыщения эмиттерного и коллекторного диодов
Дидактическая единица: Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов				
4. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРА	4	6	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4	Цель работы заключается в знакомстве с ВАХ и основными дифференциальными статическими параметрами полевых транзисторов с изолированным затвором (МДП-транзисторов). В англоязычной литературе для них, чаще всего, используется сокращение MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. В работе измеряется пороговое напряжение МОПТ, его передаточные и выходные вольт-амперные характеристики и по результатам измерений определяются статические дифференциальные параметры МОПТ: крутизна и выходная проводимость.
Дидактическая единица: Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п- переходами и барьерами Шоттки				

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПТУП	4	4	1, 11, 12, 13, 15, 2, 3, 4	Цель работы заключается в ознакомлении с ВАХ и основными дифференциальными статическими параметрами полевых транзисторов с управляющим затвором в виде р-п-перехода - ПТУП (в англоязычной литературе используется сокращение JFET - Junction Field Effect Transistor). В работе снимаются основные ВАХ ПТУП (передаточные и выходные) и по результатам измерений определяются статические дифференциальные параметры ПТУП: крутизна, выходная проводимость, внутреннее сопротивление и коэффициент усиления по напряжению.
--	---	---	----------------------------	---

Таблица 3.3

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 7				
Дидактическая единица: Общие вопросы физики полупроводниковых приборов				
1. Общие вопросы физики полупроводниковых приборов	0	4	1, 2, 3, 4, 5	Проводимость и сопротивление полупроводников. Дифференциальный закон Ома. Диффузионный и дрейфовый ток в полупроводниках. Связь с квазиуровнями Ферми. Основные состояния полупроводникового прибора и его фундаментальная система уравнений. Применение ФСУ при анализе работы прибора: релаксация фотовозбужденных носителей; односторонняя световая засветка в полупроводниковой пластине. Полупроводниковые резисторы. Эффективная ширина. Математическая модель сопротивления тонкопленочного полупроводникового резистора
Дидактическая единица: Физика контактных структур и приборы на их основе				

2. Физика контактных структур и приборы на их основ	0	8	1, 2, 3, 4	Контактная разность потенциалов в гомопереходах. Область пространственного заряда (ОПЗ) р-п-переходов с произвольным профилем легирования. Барьерная емкость р-п- перехода и нахождение профиля легирования одностороннего р-п- перехода по ВФХ. Условия Шокли на границах р-п- перехода в равновесии и при его смещении. Явления инжекции и экстракции в р-п-переходе. Концентрационная краевая задача для идеального р-п- перехода. Диоды с длинной и короткой базами. Формула Шокли для ВАХ идеального р-п- перехода. Влияние температуры на ВАХ идеального р-п- перехода и формула удвоения. Диффузионная емкость р-п-перехода. Частотные свойства р-п- перехода. Влияние генерации неосновных носителей в ОПЗ р-п- перехода на его обратный ток. Влияние рекомбинации неравновесных носителей в ОПЗ р-п- перехода на его прямой ток. Влияние на ВАХ диода объемного сопротивления базы. Тепловой пробой р-п- перехода, участок Лосева и кристадин. Туннельный пробой в р-п-переходах (пробой Зенера) Лавинный пробой в р-п-переходе. Гипотеза Шоттки.
Дидактическая единица: Физика биполярных структур и приборы на их основе				

3. Физика биполярных структур и приборы на их основ	0	10	1, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4, 8, 9	Физические процессы в биполярном транзисторе (БТ). Зонная диаграмма, распределение полей и потенциалов в биполярной структуре. Инжекционная модель Эберса-Молла. Соотношение обратимости. Передаточная форма модели Эберса-Молла. Модель Логана. Распределение концентрации неосновных носителей заряда в базе БТ. Анализ входных характеристик БТ на основе эффекта Эрли. Физическая модель Эберса-Молла. Предельные параметры БТ и эффекты их определяющие. Частотные параметры и характеристики БТ. Гетеропереход. Зонная диаграмма и физические свойства. Некремниевые гетеропереходные биполярные транзисторы. Варизонные БТ с базой из Si-Ge.
Дидактическая единица: Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов				

4. Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов	0	10	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4	Идеальная МДП-структура и три ее основных состояния. Особенности вольт-фарадных характеристик идеальной МДП-структуры. Анализ емкостей и зарядов в идеальной МДП-структуре. Пороговое напряжение и потенциал инверсии для идеальной МДП-структуры. Влияние смещения подложки на пороговое напряжение МДП-структуры. Физические особенности реальных МДП-структур. Напряжение плоских зон и разность работ выхода. Системы зарядов в двуокиси кремния и их влияние на напряжение плоских зон. ВХФ реальной МДП-структуры. Классификация состояний МДП-структуры на основе понятия поверхностного потенциала. Физические процессы в МОПТ и их влияние на ВАХ МОПТ. Интегральные МОПТ самосовмещенным затвором. Простейшая теория ВАХ МДП-транзисторов. Модель Шихмана-Ходжеса с учетом влияния смещения подложки
Дидактическая единица: Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п- переходами и барьерами Шоттки				
5. Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п- переходами и барьерами Шоттки	0	4	1, 11, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4	Физические процессы в ПТУП, их влияние на ВАХ и модель ПТУП. Полевые транзисторы с затвором Шоттки (MeSFET). Конструкция, физические особенности и принцип действия ПТ с высокой подвижностью электронов (НПЭМТ)

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 7				
1	Контрольные работы	10, 11, 12, 13, 4, 5, 6, 7, 8, 9	10	0
Работа с конспектом лекции и рекомендованной литературой: Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и наноэлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил.. табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790				

2	Курсовой проект	10, 11, 12, 13, 14, 15, 8, 9	60	8
Работа с технической документацией, рекомендованной литературой: Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и нанoeлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790				
3	Подготовка к занятиям	10, 11, 4, 5, 6, 7, 8, 9	45	0
Работа с конспектом лекций, рекомендованной литературой и Интернетом: Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и нанoeлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790				
4	Подготовка к аттестации	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	30	7
Работа с конспектом лекций, рекомендованной литературой и Интернетом: Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и нанoeлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail
Консультирование	e-mail
Контроль	e-mail
Размещение учебных материалов	e-mail

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 7		
<i>Лекция:</i>	2	4
<i>Лабораторная:</i>	12	25
<i>Практические занятия:</i>	13	25
<i>Контрольные работы:</i>	3	6
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и нанoeлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790 "		

Курсовой проект: Итого	0	100
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и нанoeлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790 "		
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и нанoeлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790 "		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля			
		Защита Л/Р	Контр. раб.	Защита КП/КР	Экзамен
ОПК.1	з8. туннельный эффект;	+			+
ОПК.2	у2. умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	+			+
ОПК.3	з2. эквивалентные схемы активных элементов	+			+
ПК.1	з7. основы физики твердого тела, принципы использования физических эффектов в твердом теле в приборах и устройствах оптической электроники;	+	+	+	+
	у7. уметь формировать математические модели на функциональном уровне		+		+
ПК.2	уб. определять надежность, стабильность и воспроизводимость характеристик твердотельных объектов или приборов при наличии внешних воздействий	+			+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Старосельский В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие : [для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника"] / В. И. Старосельский. - М., 2009. - 463 с. : ил., схемы
2. Старосельский В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие [для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника"] / В. И. Старосельский. - М., 2011. - 463 с. : ил., табл.
3. Зебрев Г. И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники : учебное пособие / Г. И. Зебрев. - М., 2011. - 240 с. : ил., схемы
4. Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / [Э. Н. Воронков и др.]. - М., 2009. - 317, [1] с. : ил., табл.
5. ЭБС IPRbooks [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - [Россия], 2010. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. - Загл. с экрана.

Дополнительная литература

1. Шур М. С. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 2 : В 2-х кн. :Пер. с англ.. - М., 1992. - 295с. : ил.
2. Шур М. С. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 1 : В 2-х кн. :Пер. с англ.. - М., 1992. - 479с. : ил.
3. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника / Л. Росадо ; пер. с исп. С. И. Баскакова ; под ред. В. А. Терехова. - М., 1991. - 350, [1] с. : ил.
4. Маллер Р. Элементы интегральных схем : пер. с англ. / Р. Маллер, Т. Кейминс. - М., 1989. - 630 с. : ил., схемы

5. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие / И. П. Степаненко. - Москва, 2000. - 488 с.
6. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - СПб., 2002. - 479 с. : ил.
7. Абрамов И. И. Лекции по моделированию элементов интегральных схем / И. И. Абрамов. - М. :, 2005. - 148 с. : ил.
8. Денисенко В. В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и наноэлектронике : [монография] / В. В. Денисенко. - Москва, 2010. - 407 с. : ил., табл.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и наноэлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев]. - Новосибирск, 2014. - 90, [2] с. : ил., табл., - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Лабораторный стенд

№	Наименование	Назначение
1	Осциллограф двухканальный приставка АСК3106	Используются в учебном процессе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ” _____ _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводниковых приборов

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, профиль:
Микроэлектроника и микроэлектроника

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине **Физика полупроводниковых приборов** приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	з8. туннельный эффект;	Дидактическая единица:1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов 1.1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов 1.1 Фундаментальная система уравнений полупроводникового прибора и ее применение Дидактическая единица:2 Физика контактных структур и приборы на их основе 2.1 Температурная зависимость параметров полупроводниковых диодов 2.2 Физика контактных структур и приборы на их основ 2.2 Гомопереходы 2.3 Переход металл-полупроводник Дидактическая единица:3 Физика биполярных структур и приборы на их основе 3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭБЕРСА-МОЛЛА ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА 3.3 Физика биполярных структур и приборы на их основ 3.4 Планарные биполярные транзисторы 3.5 Гетероструктурные биполярные транзисторы 4.4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов Дидактическая единица:4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.4 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРА 4.6 Физические свойства МДП-структуры 4.7 Физика МОП-транзисторов (MOSFET) Дидактическая единица:5 Физика полевых транзисторов	Отчет по лабораторным работам 1-4, Контрольная работа, Курсовой проект	Экзамен, вопросы по темам «Общие вопросы физики полупроводниковых приборов», «Физика контактных структур и приборы на их основе», «Физика биполярных структур и приборы на их основе», «Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов», «Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки»

		на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.3 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПТУП 5.5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.8 ПТУП, MeSFET, НЕМТ		
ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	у2. умеет выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	Дидактическая единица:3 Физика биполярных структур и приборы на их основе 3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭБЕРСА-МОЛЛА ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА 3.3 Физика биполярных структур и приборы на их основ 4.4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов Дидактическая единица:4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.4 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРА Дидактическая единица:5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки	Отчет по лабораторным работам 3-4, Курсовой проект	Экзамен, вопросы по темам «Физика биполярных структур и приборы на их основе», «Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов», «Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки»
ОПК.3 способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	32. эквивалентные схемы активных элементов	Дидактическая единица:3 Физика биполярных структур и приборы на их основе 3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭБЕРСА-МОЛЛА ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА 3.3 Физика биполярных структур и приборы на их основ 3.4 Планарные биполярные транзисторы 3.5 Гетероструктурные биполярные транзисторы Дидактическая единица:4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.4	Отчет по лабораторным работам 3-4, Курсовой проект	Экзамен, вопросы по темам «Физика биполярных структур и приборы на их основе», «Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов», «Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки»

		ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРА 4.4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.6 Физические свойства МДП-структуры 4.7 Физика МОП-транзисторов (MOSFET) Дидактическая единица:5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.3 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПТУП 5.5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.8 ПТУП, MeSFET, НЕМТ		
ПК.1 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	з7. основы физики твердого тела, принципы использования физических эффектов в твердом теле в приборах и устройствах оптической электроники;	Дидактическая единица:1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов 1.1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов 1.1 Фундаментальная система уравнений полупроводникового прибора и ее применение Дидактическая единица:2 Физика контактных структур и приборы на их основе 2.1 Температурная зависимость параметров полупроводниковых диодов 2.2 Гомопереходы 2.2 Физика контактных структур и приборы на их основ 2.3 Переход металл-полупроводник Дидактическая единица:3 Физика биполярных структур и приборы на их основе 3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭБЕРСА-МОЛЛА ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА 3.3 Физика биполярных структур и приборы на их основ 3.4 Планарные биполярные транзисторы 3.5 Гетероструктурные биполярные транзисторы 4.4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов Дидактическая единица:4 Физика полевых транзисторов	Отчет по лабораторным работам 1-4, Контрольная работа, Курсовой проект	Экзамен, вопросы по темам «Общие вопросы физики полупроводниковых приборов», «Физика контактных структур и приборы на их основе», «Физика биполярных структур и приборы на их основе», «Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов», «Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки»

		с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.4 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРА 4.6 Физические свойства МДП-структуры 4.7 Физика МОП-транзисторов (MOSFET) Дидактическая единица:5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.3 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПТУП 5.5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.8 ПТУП, MeSFET, НЕМТ		
ПК.1	у7. уметь формировать математические модели на функциональном уровне	1.1 Фундаментальная система уравнений полупроводникового прибора и ее применение Дидактическая единица:1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов 1.1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов Дидактическая единица:2 Физика контактных структур и приборы на их основе 2.1 Температурная зависимость параметров полупроводниковых диодов 2.2 Физика контактных структур и приборы на их основ Дидактическая единица:3 Физика биполярных структур и приборы на их основе 3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭБЕРСА-МОЛЛА ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА 3.3 Физика биполярных структур и приборы на их основ 4.4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов Дидактическая единица:4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.4 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОП-	Отчет по лабораторным работам 1-4, Контрольная работа, Курсовой проект	Экзамен, вопросы по темам «Общие вопросы физики полупроводниковых приборов», «Физика контактных структур и приборы на их основе», «Физика биполярных структур и приборы на их основе», «Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов», «Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки»

		ТРАНЗИСТОРА Дидактическая единица:5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.3 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПТУП 5.5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки		
ПК.2 способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментально о исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	уб. определять надежность, стабильность и воспроизводимость характеристик твердотельных объектов или приборов при наличии внешних воздействий	Дидактическая единица:1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов 1.1 Общие вопросы физики полупроводниковых приборов Дидактическая единица:2 Физика контактных структур и приборы на их основе 2.1 Температурная зависимость параметров полупроводниковых диодов 2.2 Гомопереходы 2.3 Переход металл-полупроводник Дидактическая единица:3 Физика биполярных структур и приборы на их основе 3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭБЕРСА-МОЛЛА ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА 3.3 Физика биполярных структур и приборы на их основ 3.4 Планарные биполярные транзисторы 3.5 Гетероструктурные биполярные транзисторы Дидактическая единица:4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.4 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРА 4.4 Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов 4.6 Физические свойства МДП-структуры 4.7 Физика МОП-транзисторов (MOSFET) Дидактическая единица:5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки 5.3 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ	Отчет по лабораторным работам 1-4, Контрольная работа, Курсовой проект	Экзамен, вопросы по темам «Общие вопросы физики полупроводниковых приборов», «Физика контактных структур и приборы на их основе», «Физика биполярных структур и приборы на их основе», «Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов», «Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п-переходами и барьерами Шоттки»

		ХАРАКТЕРИСТИК И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПТУП 5.5 Физика полевых транзисторов на основе затворов с р-п- переходами и барьерами Шоттки 5.8 ПТУП, MeSFET, HEMT		
--	--	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 7 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ОПК.3, ПК.1, ПК.2.

Экзамен проводится в устной форме, по билетам.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 7 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются контрольная работа, курсовой проект. Требования к выполнению контрольной работы, курсового проекта, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы, курсового проекта.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ОПК.3, ПК.1, ПК.2, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физика полупроводниковых приборов», 7 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу:
первый вопрос выбирается из диапазона вопросов соответствующих одной из пяти тематик, изученных в ходе семестра,
второй вопрос выбирается из диапазона вопросов, соответствующих другой тематике из оставшихся четырех.

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Физика полупроводниковых приборов»

1. Барьерная емкость p - n -перехода (однородно и неоднородно легированного).
2. Идеальная МДП-структура и три ее основных состояния. ВФХ идеальной структуры.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ проф. Гайслер В.А.
(подпись) (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 20 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, оценка составляет 20-25 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет 26-34 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 35-40 баллов.

Экзамен считается сданным, если средняя сумма баллов по всем вопросам составляет не менее 20 баллов (по 40 балльной шкале).

Коэффициент, с которым учитывается полученная сумма баллов в общей оценке по дисциплине, определяется Правилами аттестации исходя из того, что максимальное количество баллов за экзамен не может превышать 40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Физика полупроводниковых приборов»

«Общие вопросы физики полупроводниковых приборов»

- 1.1 Проводимость и сопротивление полупроводников. Дифференциальный закон Ома.
- 1.2 Диффузионный и дрейфовый ток в полупроводниках. Связь с квазиуровнями Ферми.
- 1.3 Электростатический потенциал и энергия
- 1.4 Объемный заряд, теорема Гаусса, уравнение Пуассона
- 1.5 Основные состояния полупроводникового прибора и его фундаментальная система уравнений

«Физика контактных структур и приборы на их основе»

- 2.1 Контактная разность потенциалов в гомопереходах
- 2.2 Область пространственного заряда (ОПЗ) p - n -переходов с произвольным профилем легирования
- 2.3 Барьерная емкость p - n - перехода (однородно и неоднородно легированного)
- 2.4 Условия Шокли на границах p - n - перехода в равновесии и при его смещении
- 2.5 Явления инжекции и экстракции в p - n - переходе
- 2.6 Концентрационная краевая задача для идеального p - n - перехода. Диоды с длинной и короткой базами
- 2.7 Формула Шокли для ВАХ идеального p - n - перехода
- 2.8 Влияние температуры на ВАХ идеального p - n - перехода и формула удвоения
- 2.9 Нагрузочная характеристика диода и его дифференциальное сопротивление.
- 2.10 Диффузионная емкость p - n - перехода
- 2.11 Влияние генерации –рекомбинации носителей заряда в ОПЗ p - n - перехода на его обратный и прямой токи
- 2.12 Влияние на ВАХ диода объемного сопротивления базы
- 2.13 Тепловой пробой p - n - перехода, участок Лосева и кристадин
- 2.14 Лавинный пробой в p - n - переходах (явление ударной ионизации)
- 2.15 Туннельный пробой в p - n - переходах (пробой Зенера)
- 2.16 Электрофизические свойства контактов Шоттки.
- 2.17 ВАХ контакта с барьером Шоттки. Диоды Шоттки.
- 2.18 Омический контакт и его удельное контактное сопротивление

«Физика биполярных структур и приборы на их основе»

- 3.1 Физические процессы в биполярном транзисторе (БТ)
- 3.2 Входные-выходные ВАХ БТ

- 3.3 Инжекционная модель Эберса-Молла. Соотношение обратимости
- 3.4 Передаточная форма модели Эберса-Молла и модель Логана
- 3.5 Распределения концентраций неосновных носителей заряда в квазинейтральных областях БТ
- 3.6 Физическая модель Эберса-Молла. Взаимосвязь коэффициента усиления тока с физико-конструктивными параметрами в БТ.
- 3.7 Графики Гуммеля и число Гуммеля.
- 3.8 Анализ входных характеристик БТ на основе эффекта Эрли
- 3.9 Предельные параметры БТ и эффекты их определяющие
- 3.10 Частотные параметры и характеристики БТ

«Физика полевых транзисторов с изолированным затвором или МДП-транзисторов

- 4.1 Идеальная МДП-структура и три ее основных состояния. ВФХ идеальной МДП-структуры.
- 4.2 Распределение поля и потенциала в МДП-структуре в состоянии обеднения
- 4.3 Пороговое напряжение и потенциал инверсии для идеальной МДП-структуры
- 4.4 Физические особенности реальных МДП-структур. Системы зарядов в двуокиси кремния и их влияние на напряжение плоских зон.
- 4.5 ВХФ реальной МДП-структуры и ее пороговое напряжение
- 4.6 Влияние смещения подложки на пороговое напряжение МДПТ. Коэффициент влияния подложки.
- 4.7 Основные физические процессы в МОП транзисторе обогащенного типа. ВАХ МОП транзисторов.
- 4.8 Простейшая теория ВАХ МДП-транзисторов
- 4.9 Модель Шихмана-Ходжеса с учетом влияния смещения подложки

«Физика полевых транзисторов на основе затворов с p - n - переходами и барьерами Шоттки

- 5.1 Физические процессы в ПТУП и ВАХ ПТУП
- 5.2 Конструкция, физические особенности и принцип действия ПТ с высокой подвижностью электронов (НЕМТ)

Вопросы составил _____ доц. Калинин С.В. декабрь 20_

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Физика полупроводниковых приборов», 7 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по теме «Физика контактных структур и приборы на их основе». Содержит более 10 заданий. Каждое задание содержит в себе две задачи. Выполняется устно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если выполнено менее 50% заданий. Оценка составляет 0-3 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено 50-60% заданий. Оценка составляет 4 балла.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнено 70-80% заданий. Оценка составляет 5 баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если выполнено не менее 90% заданий. Оценка составляет 6 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

Пример 1 задачи (ключевой) задания

Студент на экзамене отвечает на вопрос – «Диффузионная компонента электрического тока в полупроводниках». Подробно раскрыв физическую сущность данного явления, студент выписывает формулы для электронной и дырочной компонент плотностей тока:

$$J_{n, \text{диф}} = q \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx}; J_{p, \text{диф}} = -q \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx} \text{ и по своей инициативе в завершении}$$

ответа разъясняет преподавателю, что знак минус в формуле для $J_{p, \text{диф}}$ связан с тем, что у дырок заряд – положительный и диффузионный поток по закону Фика всегда направлен в противоположную к градиенту сторону (плюс умножить на минус есть минус), а для $J_{n, \text{диф}}$ - знак положительный, т.к. заряд у электронов – отрицательный (минус на минус есть плюс). Преподаватель, согласившись с данным утверждением студента, резонно замечает, что примерно такая же асимметрия в знаках должна выполняться и для формул у

дрейфовой компоненты тока - $J_{n, \text{дрейфа}} = q \cdot n \cdot \mu_n \cdot E$; $J_{p, \text{дрейфа}} = q \cdot p \cdot \mu_p \cdot E$.

Почему же там она не наблюдается? Студент задумался. В чем же здесь дело?

Пример 2 задачи задания

Предположим, что имеется кремниевый образец в форме одномерного стержня, легированный примесью фосфора. Концентрация примеси в области левого конца полупроводника на несколько порядков выше, чем в области правого конца. Профиль легирования – линейный. Полупроводник находится в равновесном состоянии. Ответьте на следующие вопросы:

- Как выглядит зонная диаграмма полупроводника?
- В какую сторону направлено электрическое поле?
- Куда направлены дрейфовая и диффузионная компоненты электронного токов?
- Почему полный ток будет равен нулю в любой точке структуры?
- Какой профиль распределения имеют дырки?

Паспорт курсового проекта

по дисциплине «Физика полупроводниковых приборов», 7 семестр

1. Методика оценки.

Целью курсового проекта является ознакомление студентов современными классами полупроводниковых приборов (элементной базой), которые используются при изготовлении интегральных схем (ИМС).

Задание к курсовому проекту состоит в том, чтобы составить аналитическое описание конкретной конструкции прибора, описать его физику работы с учетом различных специфических физических эффектов, технологию изготовления, ВАХ и другие характеристики прибора, а также его параметры, которые используются на практике разработчиками ИМС, математические модели прибора.

Примерная структура курсовой работы:

- Структура прибора и принцип его действия;
- Технология изготовления;
- Специфические особенности и физические эффекты в приборе;
- Рабочие характеристики прибора и его параметры;
- Математические модели прибора (в том числе, используемые при SPICE-моделировании).

Работа выполняется последовательно, с соответствии с заданной структурой. Защита курсового проекта проводится только после предоставления письменного отчета.

Главными оцениваемыми позициями являются структура прибора и принцип его действия, рабочие характеристики и параметры прибора, используемые при проектировании ИМС, математические модели.

Письменный отчет выполняется в редакторе Word. Он должен содержать: титульный лист, лист содержания, лист кратких обозначений, введение, разделы структуры, описанные выше, заключение, список использованных литературных и других источников. Пример оформления титульного листа:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Курсовая работа

Исследование и анализ характеристик и параметров КМОП транзисторов с LDD структурой исток-стоков

Выполнил: студент

дата_____

гр. РЭН2-31 Киселев Д.Е.

Проверил: доцент Калинин С.В.

дата_____

2. Критерии оценки.

Каждый раздел структуры курсовой работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Курсовой проект считается **невыполненной**, если выполнено менее 50% заданий, причем отсутствуют или содержат принципиальные ошибки разделы: структура прибора и принцип его действия и рабочие характеристики прибора и его параметры. Оценка может составлять 0-40 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено 50-60% заданий, причем в разделах технология изготовления и специфические особенности и физические эффекты в приборе имеются неточности. Оценка может составлять 50-60 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнено 70-80% заданий, причем в разделе математические модели имеются ошибки. Оценка составляет 70-80 баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если выполнено не менее 90% заданий. Оценка составляет 90-100 баллов.

3. Шкала оценки.

В общей оценке по дисциплине баллы за проект учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Баллы по курсовой работе начисляются отдельно от баллов по курсу в целом.

4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы).

– Исследование и анализ характеристик и параметров n-канальных обедненных МОП транзисторов на объемном кремнии;

– Исследование и анализ характеристик и параметров p-канальных обедненных МОП транзисторов на объемном кремнии;

– Исследование и анализ характеристик и параметров n-канальных обогащенных n-МОП транзисторов на объемном кремнии;

– Исследование и анализ характеристик и параметров p-канальных обогащенных МОП транзисторов на объемном кремнии;

- Исследование и анализ эффектов сильных полей в КМОП транзисторах;
- Исследование и анализ характеристик и параметров КМОП транзисторов с LDD структурой исток-стоков;
- Исследование и анализ характеристик и параметров КМОП транзисторов на объемном кремнии;
- Исследование и анализ характеристик и параметров КМОП транзисторов на КНИ структурах;
- Исследование и анализ характеристик и параметров КМОП транзисторов на КНИ структурах;
- Исследование и анализ характеристик и параметров вертикальных биполярных транзисторов;
- Исследование и анализ комплементарной пары вертикальных биполярных транзисторов;

5. Перечень вопросов к защите курсового проекта (работы).

- Основные состояния полупроводникового прибора и его фундаментальная система уравнений
- Контактная разность потенциалов в гомопереходах
- Область пространственного заряда (ОПЗ) р-п-переходов с произвольным профилем легирования
- Формула Шокли для ВАХ идеального р-п- перехода
- ВАХ контакта с барьером Шоттки. Диоды Шоттки
- Омический контакт и его удельное контактное сопротивление
- Физические процессы в биполярном транзисторе (БТ)
- Входные-выходные ВАХ БТ
- Предельные параметры БТ и эффекты их определяющие
- Частотные параметры и характеристики БТ
- Модель Эберса-Молла
- Физические особенности реальных МДП-структур. Системы зарядов в двуокиси кремния и их влияние на напряжение плоских зон.
- ВХФ реальной МДП-структуры и ее пороговое напряжение
- Простейшая теория ВАХ МДП-транзисторов
- Модель Шихмана-Ходжеса с учетом влияния смещения подложки