



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор института Электроэнергетики и
электроники

_____ Ившин И.В.

« 28 » октября _____ 2020 г.

АКТУАЛИЗИРОВАНО
решением ученого совета ИЭЭ
протокол №7 от 16.04.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Проектирование изделий «система в корпусе» и микросборок

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) 11.03.04 Промышленная электроника

Квалификация бакалавр

г. Казань, 2020

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (уровень бакалавриата) (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

Программу разработал(и):

доцент, к.т.н. _____ Иванов Д.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Промышленная электроника и светотехника, протокол №5 от 27.10.2020

Зав. кафедрой Голенищев-Кутузов А.В.

Программа одобрена на заседании методического совета института Электроэнергетики и электроники, протокол № 3 от 28.10.2020

Зам. директора института Электроэнергетики и электроники

_____ /Ахметова Р.В./

Программа принята решением Ученого совета института Электроэнергетики и электроники, протокол № 4 от 28.10.2020

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является повышение уровня знаний в области проектирования полупроводниковых приборов и интегральной микроэлектронной и наноэлектронной техники.

Задачами дисциплины являются:

- освоение методологии проектирования интегральных схем;
- приобретение знаний и навыков проектирования интегральных систем;
- изучение и анализ маршрутов проектирования изделий микроэлектроники;
- изучение технологических режимов операций технологического процесса производства электронных компонентов и проектных процедур.

Компетенции, формируемые у обучающихся, запланированные результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)
Профессиональные компетенции (ПК)		
ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ПК-3.1 Выполняет расчет электронных приборов, схем и устройств в области электроники и наноэлектроники	<i>Знать:</i> принципы математического описания физических эффектов в полупроводниковых приборах <i>Уметь:</i> применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования изделий "система в корпусе" и микросборок <i>Владеть:</i> навыками работы с информационными базами данных об электронных компонентах
	ПК-3.2 Использует средства автоматизации проектирования приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием	<i>Знать:</i> основные методы автоматизированного проектирования приборов "система в корпусе" и микросборок <i>Уметь:</i> обеспечивать конструктивную реализацию полупроводниковых материалов и приборов <i>Владеть:</i> современными программными средствами проектирования и моделирования полупроводниковых приборов

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Проектирование изделий «система в корпусе» и микросборок относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

Код компетенции	Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.	Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.
УК-1		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
УК-2		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
УК-3		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
УК-4		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
УК-5		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
УК-6		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
УК-7		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
УК-8		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
ОПК-1		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
ОПК-1	Схемотехника	
ОПК-2		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
ОПК-3	Микропроцессорные устройства	
ОПК-3		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
ОПК-4		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
ПК-1		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика (преддипломная)
ПК-3		Автоматизированный анализ, моделирование и оптимизация устройств промышленной электроники Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика (преддипломная)
ПК-3	Инженерное проектирование с применением САПР	
ПК-4		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика (преддипломная)

ПК-5	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика (преддипломная)
ПК-2	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы Производственная практика (преддипломная)

Для освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные понятия и фундаментальные законы естественнонаучных дисциплин;
- общие свойства различных групп материалов, используемых в электронных приборах и устройствах;
- физическую сущность процессов и явлений, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах в различных условиях эксплуатации;
- основные способы математической обработки информации.

Уметь:

- анализировать воздействие различных параметров на процессы измерения различных физических величин в процессе проведения экспериментов;
- синтезировать и разрабатывать приборы и измерительные ячейки различного функционального назначения;
- пользоваться различными законами и закономерностями для объяснения физических принципов функционирования электронных приборов;
- проводить анализ и систематизацию информации, связанной с исследованием электронных приборов;
- анализировать воздействие сигналов на линейные и нелинейные цепи;
- отличать науку от лженауки.

Владеть:

- современными методами расчета, моделирования, автоматизирования экспериментальных установок;
- особенности использования электронных приборов в радиоэлектронной аппаратуре;
- основными методами математической обработки информации;
- методикой и техникой изучения естественнонаучных данных;
- навыками поиска, сбора, систематизации и использования информации в предметной области изучаемой дисциплины.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) (ЗЕ), всего 216 часов, из которых 115 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа 32 час., занятия семинарского типа (практические, семинарские занятия, лабораторные работы и т.п.) 48 час., групповые и индивидуальные консультации 0 час., прием экзамена (КПА), зачета с оценкой - 1 час., самостоятельная работа обучающегося 84 час. Практическая подготовка по виду профессиональной деятельности составляет 11,5 часов.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		7
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	216	216
КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ, в том числе:	115	115
Лекционные занятия (Лек)	32	32
Лабораторные занятия (Лаб)	16	16
Практические занятия (Пр)	32	32
Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа (КСР)*	2	2
Консультации, сдача и защита Курсового проекта (ККП)	32	32
Контактные часы во время аттестации (КПА)	1	1
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС)	84	84
Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (курсовой проект, зачет с оценкой)	17	17
ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	КП, ЗаО	ЗаО

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Семестр	Распределение трудоемкости (в часах) по видам учебной работы, включая СРС							Формируемые результаты обучения (знания, умения, навыки)	Литература	Формы текущего контроля успеваемости	Формы промежуточной аттестации	Максимальное количество баллов по балльно - рейтинговой системе
		Занятия лекционного типа	Занятия практического / семинарского типа	Лабораторные работы	Групповые консультации	Самостоятельная работа студента, в т.ч.	Контроль самостоятельной работы (КСР)	подготовка к промежуточной аттестации					
Раздел 1. Общие принципы проектирования интегральных микросхем													

1. Рабочие слои ИМС. Обобщенные нормы и порядок проектирования	7	4	4	4	2				14	ПК-3.1 -У1, ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -В1	Л1.1, Л1.2, Л1.3, Л2.1, Л2.2, Л2.3, Л2.4	КнтР ОЛР	30	9
2. Контакты и межсоединения в ИМС	7	4	4		1				9	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.1 -В1	Л1.3, Л2.2, Л1.2	КнтР	30	3
Раздел 2. Проектирование биполярных ИМС														
3. Интегральные биполярные транзисторы	7	4	4	4	3				15	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -В1	Л1.3, Л2.2, Л1.2	КнтР ОЛР	30	12
4. Интегральные резисторы, конденсаторы и диоды	7	4	4		1				9	ПК-3.1 -В1, ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31	Л1.3, Л2.2, Л1.2	КнтР	30	3
Раздел 3. Проектирование ИМС на МОП-транзисторах														
5. Интегральные МОП-транзисторы.	7	4	4	4	2				14	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -В1	Л1.3, Л2.2, Л1.2	ОЛР КнтР	30	9
6. КМОП-интегральные схемы	7	4	4		4	2			14	ПК-3.1 -В1, ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -В1	Л1.3, Л2.2, Л1.2	КнтР	30	12

Раздел 4. Проектирование гибридных ИМС

7. Пассивные компоненты гибридных ИМС	7	4	4			1				9	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.1 -В1	Л1.3, Л2.2, Л1.2	КнтР	30	3
8. Топология гибридных ИМС	7	2	4	4		2				12	ПК-3.1 -31, ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -В1	Л1.3, Л2.2, Л1.2	ОЛР КнтР	30	9
9. Разновидности гибридных ИМС	7	2								2	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31	Л1.3, Л2.2	КнтР	30	3

Раздел 5. Курсовое проектирование

10. Курсовое проектирование	7					12				42	ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -В1	Л1.3, Л2.2, Л1.2	КП	КП	
-----------------------------	---	--	--	--	--	----	--	--	--	----	---------------------------------	------------------------	----	----	--

Раздел 6. Промежуточная аттестация

11. Зачет оценкой	7					2			1	3	ПК-3.1 -31, ПК-3.1 -У1, ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -У1, ПК-3.2 -В1	Л1.3, Л2.2	ЗаО	ЗаО	40
-------------------	---	--	--	--	--	---	--	--	---	---	---	---------------	-----	-----	----

12. Прием курсового проекта	7									2	ПК-3.1 -31, ПК-3.1 -В1, ПК-3.1 -У1, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -У1, ПК-3.2 -В1	Л1.3, Л2.2	КП	КП	
ИТОГО		32	32	16		28	2	17	1	160					100

3.3. Тематический план лекционных занятий

Номер раздела дисциплины	Темы лекционных занятий	Трудоемкость, час.
1	Порядок проектирования. Рабочие слои ИМС.	2
2	Обобщенные нормы проектирования	2
3	Контакт «металл-полупроводник», «металл-металл»	2
4	Межсоединения в ИМС. Материалы, ширина, сопротивление и емкость токоведущих дорожек.	2
5	Общие вопросы проектирования биполярных ИМС. Биполярный вертикальный p-р-p-транзистор: принцип работы, параметры, конструкция, топология, расчет.	2
6	Горизонтальный p-р-p-транзистор. Многоэмиттерный вертикальный p-р-p-транзистор. Масштабирование биполярных транзисторов.	2
7	Резисторы и индуктивности ИМС	2
8	Конденсаторы и диоды ИМС	2
9	Режимы работы МОП-структуры и типы транзисторов. Электрические характеристики МОП-транзисторов.	2
10	Проектирование МОП-транзисторов с индуцированным каналом. МОП-транзистор на сапфире или изолирующей подложке. МОП-транзистор со встроенным (собственным) каналом	2
11	КМОП-интегральные схемы. КМОП-инвертор. Многоходовые логические КМОП-элементы	2
12	ИМС на nМОП-транзисторах. Масштабирование МОП ИМС	2
13	Подложки в гибридных ИМС. Проектирование тонкопленочных резисторов и пленочных конденсаторов	2
14	Проектирование пленочных индуктивностей, проводников и контактных площадок. Навесные компоненты ГИМС	2
15	Разработка топологии гибридных ИМС	2
16	Разновидности гибридных ИМС: на основе тантала, на полиимидной подложке, с применением сквозного анодирования алюминия, с применением термопластиков	2

Всего	32
-------	----

3.4. Тематический план практических занятий

Номер раздела дисциплины	Темы практических занятий	Трудоемкость, час.
1	Расчет параметров полупроводников и материалов микроэлектроники	4
2	Расчет параметров токоведущих и контактных площадок	4
3	Расчет параметров биполярных транзисторов в интегральном исполнении	4
4	Расчет параметров интегральных резисторов и индуктивностей	2
5	Расчет параметров интегральных диодов и конденсаторов	2
6	Расчет параметров интегральных МОПТ	4
7	Расчет параметров КМОП ИМС	4
8	Расчет тонкопленочных резисторов и пленочных конденсаторов	2
9	Расчет пленочных индуктивностей, проводников и контактных площадок	2
10	Расчет топологии гибридных микросхем	2
11	Расчет тепловых режимов гибридных микросхем	2
Всего		32

3.5. Тематический план лабораторных работ

Номер раздела дисциплины	Темы лабораторных работ	Трудоемкость, час.
1	Знакомство с интерфейсом, командами и принципами проектирования в САПР Electric. Разработка макета топологии интегральной микросхемы	4
2	Построение топологии и схмотехническое моделирование биполярных и полевых транзисторов в САПР Electric.	4
3	Построение топологии и схмотехническое моделирование макета элемента И-НЕ на основе полевых транзисторов в САПР Electric.	4
4	Проектирование узлов комбинационного типа в САПР Electric.	4
Всего		16

3.6. Самостоятельная работа студента

Номер раздела дисциплины	Вид СРС	Содержание СРС	Трудоемкость, час.
1	Изучение теоретического материала	Рабочие слои полупроводника.	1
2	Отчет о выполнении лабораторной работы	Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы 1	1

3	Изучение теоретического материала	Токоведущая дорожка - распределенная RC-цепь. Секционированная шина с формирователем. Пересечения и переемычки токоведущих дорожек	1
4	Изучение теоретического материала	Новые конструкции биполярных транзисторов	1
5	Изучение теоретического материала	Малосигнальные эквивалентные схемы биполярных транзисторов. SPICE-модели БП-транзисторов. Параметры моделей.	1
6	Отчет о выполнении лабораторной работы	Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы 2	1
7	Изучение теоретического материала	Согласование активных и пассивных компонентов.	1
8	Изучение теоретического материала	Влияние поверхностных дефектов на параметры МОП-транзисторов. Особенности МОПТ с коротким и узким каналами	1
9	Отчет о выполнении лабораторной работы	Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы 3	1
10	Изучение теоретического материала	Защита выводов микросхем от статического электричества	1
11	Изучение теоретического материала	Корпуса и тепловой расчет микросхем	1
12	Изучение теоретического материала	Малосигнальные эквивалентные схемы МОП-транзисторов. SPICE-модели МОП-транзисторов. Параметры моделей.	1
13	Выполнение контрольной самостоятельной работы	Разработка проекта топологии интегральной микросхемы	1
14	Изучение теоретического материала	Защита пленочных элементов. Навесные элементы	1
15	Изучение теоретического материала	Оценочный расчет и обеспечение тепловых режимов гибридных ИМС	1
16	Отчет о выполнении лабораторной работы	Подготовка отчета о выполнении лабораторной работы 4	1
17	Выполнение курсового проекта	Выполнение раздела 1 курсового проекта	1
18	Выполнение курсового проекта	Выполнение раздела 2 курсового проекта	2
19	Выполнение курсового проекта	Выполнение раздела 3 курсового проекта	2
20	Выполнение курсового проекта	Выполнение раздела 4 курсового проекта	2
21	Выполнение курсового проекта	Выполнение раздела 5 курсового проекта	2

22	Выполнение курсового проекта	Выполнение раздела 6 курсового проекта	2
23	Выполнение курсового проекта	Выполнение раздела 7 курсового проекта	1
Всего			28

4. Образовательные технологии

При реализации дисциплины «Проектирование изделий "система в корпусе" и микросборок» по образовательным программам направления подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» применяются электронное обучение.

В процессе обучения используются:

- электронные образовательные ресурсы (ЭОР), размещенные в личных кабинетах студентов Электронного университета КГЭУ, URL: <http://e.kgeu.ru/>

5. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля успеваемости, проводимого по балльно-рейтинговой системе (БРС), и промежуточной аттестации.

Обобщенные критерии и шкала оценивания уровня сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции) по итогам освоения дисциплины:

Планируемые результаты обучения	Обобщенные критерии и шкала оценивания результатов обучения			
	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
	не зачтено	зачтено		
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
Наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме

Наличие навыков (владение опытом)	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов
Характеристика сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции)	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач
Уровень сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции)	Низкий	Ниже среднего	Средний	Высокий

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции)			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено			не зачтено
ПК-3	ПК-3.1	Знать				

		принципы математического описания физических эффектов в полупроводниковых приборах	Знает принципы математического описания физических эффектов в интегральных БП и МОП-транзисторах, диодах и пассивных элементах	Имеет общие знания о принципах математического описания физических эффектов в интегральных активных и пассивных компонентах	Имеет общие знания о принципах математического описания физических эффектов в активных и пассивных компонентах, имеет место несколько негрубых ошибок	Не знает принципы математического описания физических эффектов в полупроводниковых приборах, имеет место много грубых ошибок
	Уметь					
		применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования изделий "система в корпусе" и микросборок	Свободно применяет методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования биполярных, МОП-, гибридных и КМОП интегральных микросхем	Умеет применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования изделий "система в корпусе" и микросборок	Слабо ориентируется в использовании методов расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования изделий "система в корпусе" и микросборок, имеет место несколько негрубых ошибок	Не умеет применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования изделий "система в корпусе" и микросборок, имеет место много грубых ошибок
	Владеть					
		навыками работы с информационными базами данных об электронных компонентах	В полном объеме владеет навыками работы с информационными базами данных отечественных и зарубежных электронных компонентах	Достаточно полно владеет навыками работы с информационными базами данных отечественных электронных компонентах	Слабо владеет навыками работы с информационными базами данных отечественных электронных компонентах, имеет место несколько негрубых ошибок	Не владеет навыками работы с информационными базами данных об электронных компонентах, имеет место много грубых ошибок
ПК-3.2	Знать					

		основные методы автоматизированного проектирования приборов "система в корпусе" и микросборок	Знает основные методы автоматизированного проектирования приборов "система в корпусе" и микросборок без ошибок	Имеет общие знания об основных методах автоматизированного проектирования приборов "система в корпусе" и микросборок, имеет место несколько негрубых ошибок	Имеет общие знания об основных методах автоматизированного проектирования приборов "система в корпусе" и микросборок, имеет место много негрубых ошибок	Не знает основные методы автоматизированного проектирования приборов "система в корпусе" и микросборок, имеет место много грубых ошибок
Уметь						

		обеспечивать конструктивную реализацию полупроводниковых материалов и приборов	Свободно обеспечивает конструктивную реализацию полупроводниковых материалов и приборов	Умеет обеспечивать конструктивную реализацию полупроводниковых материалов и приборов	Слабо ориентируется в обеспечении конструктивной реализации полупроводниковых материалов и приборов	Не умеет обеспечивать конструктивную реализацию полупроводниковых материалов и приборов
Владеть						
		современными программными средствами проектирования и моделирования полупроводниковых приборов	В полном объеме владеет современными программными средствами проектирования и моделирования полупроводниковых приборов	Достаточно полно владеет современными программными средствами проектирования и моделирования полупроводниковых приборов	Слабо владеет современными программными средствами проектирования и моделирования полупроводниковых приборов, имеет место несколько негрубых ошибок	Не владеет современными программными средствами проектирования и моделирования полупроводниковых приборов, имеет место много грубых ошибок

Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины. Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре-разработчике в бумажном и электронном виде.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

№ п/п	Автор(ы)	Наименование	Вид издания (учебник, учебное пособие, др.)	Место издания, издательство	Год издания	Адрес электронного ресурса	Кол-во экземпляров в библиотеке КГЭУ
1	Попов В. Д., Белова Г. Ф.	Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении	учебное пособие	СПб.: Лань	2013	https://e.lanbook.com/book/5850	
2	Петров М. Н., Гудков Г. В.	Моделирование компонентов и элементов интегральных схем	учебное пособие	СПб.: Лань	2011	https://e.lanbook.com/book/661	

Дополнительная литература

№ п/п	Автор(ы)	Наименование	Вид издания (учебник, учебное пособие, др.)	Место издания, издательство	Год издания	Адрес электронного ресурса	Кол-во экземпляров в библиотеке КГЭУ
1	Коледов Л.А.	Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок	учебное пособие	СПб.: Лань	2009	https://e.lanbook.com/book/192	
2	Садыков М.Ф.	Микроэлектроника	учебное пособие	Казань: КГЭУ	2007		164
3	Беляева Л.Р.	Аналоговые интегральные схемы в измерительных устройствах	метод. указания к выполнению лабор. работ	Казань: КГЭУ	2010		49

6.2. Информационное обеспечение

6.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Электронно-библиотечная система "Лань"	https://e.lanbook.com/
2	Электронно-библиотечная система "BOOK.ru"	https://www.book.ru/
3	Электронно-библиотечная система "Консультант студента"	http://www.studentlibrary.ru
4	Электронно-библиотечная система "ibooks.ru"	https://ibooks.ru/
5	Электронно-библиотечная система "ipr media"	http://www.iprbookshop.ru/

6.2.2. Профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1	Российская национальная библиотека	http://nlr.ru/	http://nlr.ru/
2	Web of Science	https://webofknowledge.com/	https://webofknowledge.com/
3	Платформа SpringerLink	www.link.springer.com	www.link.springer.com
4	«Freedom Collection» издательства Elsevier	http://www.sciencedirect.com	http://www.sciencedirect.com
5	КиберЛенинка	B https://cyberleninka.ru/	B https://cyberleninka.ru/
6	Scopus	https://www.scopus.com	https://www.scopus.com
7	Мировая цифровая библиотека	B http://wdl.org	B http://wdl.org
8	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru	http://elibrary.ru
9	Электронная библиотека диссертаций (РГБ)	diss.rsl.ru	diss.rsl.ru
10	Национальная электронная библиотека (НЭБ)	https://rusneb.ru/	https://rusneb.ru/
11	Техническая библиотека	http://techlibrary.ru	http://techlibrary.ru
12	IEEE Xplore	www.ieeexplore.ieee.org	www.ieeexplore.ieee.org

6.2.3. Информационно-справочные системы

№ п/п		Адрес	Режим доступа
1	ИСС «Кодекс» / «Техэксперт»	http://app.kgeu.local/Home/Ar	http://app.kgeu.lo

6.2.4. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Назначение	Реквизиты подтверждающих документов
1	LMS Moodle	Это современное программное обеспечение	https://download.moodle.org/releases/latest/
2	Proteus ISIS	Пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем.	http://proteuspro.ru/

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для СРС	Оснащенность специальных помещений и помещений для СРС
1	Контроль курсового проектирования	Учебная аудитория для проведения занятий по курсовому проектированию, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля.	30 посадочных мест, персональный компьютер (16 шт.), коммутационный шкаф для усилителя-микшера с установкой Веллес ; потолочное крепление для проектора, интерактивная доска; проектор, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду
2	Лабораторные занятия	Учебная аудитория для проведения лабораторных работ	30 посадочных мест, персональный компьютер (16 шт.), коммутационный шкаф для усилителя-микшера с установкой Веллес; потолочное крепление для проектора, интерактивная доска; проектор, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду
3	Самостоятельная работа	Читальный зал	проектор, переносной экран, тонкие клиенты (13 шт.), компьютеры (5 шт.)
		Компьютерный класс с выходом в Интернет	моноблок (30 шт.), система видеонаблюдения (6 видеокамер), проектор, экран
4	Практические занятия	Учебная аудитория для для проведения занятий практического типа	доска аудиторная, телевизор, компьютер в комплекте с монитором
5	Лекционные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа.	доска аудиторная, проектор, экран, ноутбук
6	Контроль и промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	30 посадочных мест, доска деревянная распашная, телевизор плазменный настен., камера IP
7	Курсовое проектирование	Учебная аудитория для проведения занятий по курсовому проектированию.	30 посадочных мест, персональный компьютер (16 шт.), коммутационный шкаф для усилителя-микшера с установкой Веллес ; потолочное крепление для проектора, интерактивная доска; проектор, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду
8	Консультации	Учебная аудитория для проведения индивидуальных консультаций	30 посадочных мест, персональный компьютер (16 шт.), коммутационный шкаф для усилителя-микшера с установкой Веллес ; потолочное крепление для проектора, интерактивная доска; проектор, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную

			информационно-образовательную среду
9	Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа	Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля	компьютер (16 шт.), коммутационный шкаф для усилителя-микшера с установкой Веллес, интерактивная доска, проектор

8. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного

корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их

индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

9. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);
- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);
- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- формирование эстетической картины мира;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Профессионально-трудовое воспитание:

- формирование добросовестного, ответственного и творческого отношения к разным видам трудовой деятельности;

- формирование навыков высокой работоспособности и самоорганизации, умение действовать самостоятельно, мобилизовать необходимые ресурсы, правильно оценивая смысл и последствия своих действий;

Экологическое воспитание:

- формирование экологической культуры, бережного отношения к родной земле, экологической картины мира, развитие стремления беречь и охранять природу;

3.1. Структура дисциплины для заочного обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Курс
		5
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	216	216
КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ, в том числе:	22,5	22,5
Лекционные занятия (Лек)	6	6
Лабораторные занятия (Лаб)	8	8
Практические занятия (Пр)	4	4
Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа (КСР)*	2	2
Консультации, сдача и защита Курсового проекта (ККП)	2	2
Контактные часы во время аттестации (КПА)	0,5	0,5
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС):	189,5	189,5
Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (курсовой проект, зачет с оценкой)	4	4
ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	КП, ЗаО	ЗаО

*Приложение к рабочей программе
дисциплины*



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

Проектирование изделий «система в корпусе» и микросборок

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) Промышленная электроника

Квалификация

бакалавр

г. Казань, 2020

Оценочные материалы по дисциплине «Проектирование изделий «система в корпусе» и микросборок» - комплект контрольно-измерительных материалов, предназначенных для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенции(й):

ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля успеваемости, проводимого по балльно-рейтинговой системе (БРС), и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание процесса обучения по дисциплине. При текущем контроле успеваемости используются следующие оценочные средства: практическое задание

, контрольная работа

, курсовой проект, тест, отчет по лабораторной работе, зачет с оценкой.

Промежуточная аттестация имеет целью определить уровень достижения запланированных результатов обучения по дисциплине за 7 семестр. Форма промежуточной аттестации кп, 7 семестр. Форма промежуточной аттестации зачёт с оценкой.

Оценочные материалы включают задания для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, разработанные в соответствии с рабочей программой дисциплины.

1. Технологическая карта

Семестр 7

Номер раздела/ темы дисциплины	Вид СРС	Наименование оценочного средства	Код индикатора достижения компетенций	Уровень освоения дисциплины, баллы				
				неудов-но	удов-но	хорошо	отлично	
				не зачтено	зачтено			
				низкий	ниже среднего	средний	высокий	
Текущий контроль успеваемости								
8	Отчет о выполнении лабораторной работы	ОЛР	ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -В1	менее 1	1 - 2	3 - 4	5 - 6	
8	Изучение теоретического материала	КнтР	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3	
6	Выполнение контрольной самостоятельной работы	КнтР	ПК-3.1 -В1, ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -В1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3	

7	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.1 -B1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
6	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -B1, ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -B1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
3	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
3	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
2	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.1 -B1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
1	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31,	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
1	Отчет выполнении лабораторной работы	ОЛР	ПК-3.1 -У1, ПК-3.1 -B1, ПК-3.2 -B1	менее 1	1 - 2	3 - 4	5 - 6
3	Отчет выполнении лабораторной работы	ОЛР	ПК-3.1 -B1, ПК-3.2 -B1	менее 1	1 - 2	3 - 4	5 - 6
6	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -B1, ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -B1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
6	Изучение теоретического материала	КНР	ПК-3.1 -B1, ПК-3.1 -31, ПК-3.2 -31, ПК-3.2 -B1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
5	Отчет выполнении лабораторной работы	ОЛР	ПК-3.1 -B1, ПК-3.2 -B1	менее 1	1 - 2	3 - 4	5 - 6

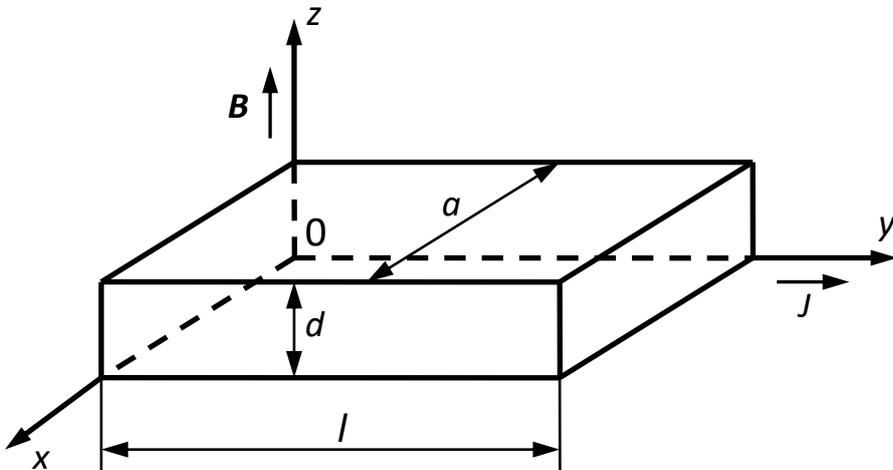
4	Изучение теоретического материала	КнтР	ПК-3.1 -В1, ПК-3.1 -З1, ПК-3.2 -З1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
5	Изучение теоретического материала	КнтР	ПК-3.1 -З1, ПК-3.2 -З1	менее 0	1 - 1	2 - 2	3 - 3
Промежуточный контроль успеваемости							
9	Зачет с оценкой	ЗО	ПК-3.1 -З1, ПК-3.1 -У1, ПК-3.1 -В1, ПК-3.2 -З1, ПК-3.2 -У1, ПК-3.2 -В1	менее 25	25-29	30-34	35-40
Всего баллов				0 - 54	55-69	70-84	85-100

2. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Оценочные материалы
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Контрольная работа (КнтР)	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу	Комплект контрольных заданий по вариантам
Курсовой проект (КП)	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся	Темы групповых и/или индивидуальных проектов
Тест (Тест)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Комплект тестовых заданий
Отчет по лабораторной работе (ОЛР)	Выполнение лабораторной работы, обработка результатов испытаний, измерений, эксперимента. Оформление отчета, защита результатов лабораторной работы по отчету	Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы, перечень требований к отчету
Зачет с оценкой (ЗО)	Комплект вопросов и задач для сдачи промежуточной аттестации в форме зачета с оценкой	Вопросы для подготовки к экзамену. Задачи для решения

3. Оценочные материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Наименование оценочного средства	Практическое задание (ПЗ)
Представление и содержание оценочных материалов	<p>После рассмотрения на лекционном занятиях основных тем и теоретического материала для самоизучения, необходимых для выполнения письменного задания, студенту предлагается выполнить практическое задание, представленное в виде задачи по тематике лекционного занятия с подробным развернутым решением</p> <p><i>Примеры задач для выполнения практического задания</i></p> <p>Задача 1. В эксперименте по изучению эффекта Холла (см. рис. 1), проведенном с образцом кремния, получены следующие данные: $l = 1$ см; $d = 0,1$ см; $a = 0,2$ см; $I = 5$ мА; $B = 1$ Тл; $U = 0,245$ В (в направлении тока I); $U_n = 2,0$ мВ. Считая, что коэффициент Холла $r_n = 1,18$, определите: а) тип полупроводника, из которого выполнен образец; б) концентрацию основных носителей; в) холловскую подвижность носителей; г) подвижность, связанную с протеканием основного тока; д) коэффициент диффузии.</p>  <p>Рис. 1. Эффект Холла в кремнии</p> <p>Задача 2. Имеется образец полупроводника, размеры которого достаточно велики для того, чтобы можно было пренебречь влиянием поверхности. При $x = 0$ существует однородный источник, создающий избыточную концентрацию неосновных носителей, которая изменяется лишь вдоль оси x. Внешнее электрическое поле отсутствует, и система находится в стационарном состоянии. Полупроводник n-типа невырожден, равномерно легирован атомами примеси с концентрацией N_d. Наблюдается низкий уровень инжекции; считается также, что выполняются условия квазинейтральности, т.е. $J_{dp} = J_{ap}$. Принимая во внимание уравнение непрерывности, найдите: а) концентрацию неосновных носителей как функцию переменной x; б) плотности токов диффузии неосновных и основных носителей, считая, что $D_n = 2D_p$; в) плотность дрейфового тока основных носителей; г) напряженность внутреннего электрического поля.</p> <p>Задача 3. Имеется изготовленный из кремния p-n-переход, находящийся при температуре 300 К; p-область перехода легирована атомами бора (элемент III группы Периодической системы элементов) с концентрацией 10^{21} м⁻³. Область n перехода легирована атомами фосфора (элемент V группы) с концентрацией 10^{20} м⁻³. Вычислите: а) высоту потенциального барьера U_0, если $U = 0$; $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см⁻³; б) координаты границ обедненной области с каждой стороны перехода, если</p>

приложенное напряжение $U = -10\text{ В}$. Параметр $\varepsilon_{\text{ап}} = 1,062 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{см}^{-1}$;
в) барьерную емкость при напряжении -10 В , если площадь поперечного сечения перехода 10^{-8} м^2 ;
г) напряжение лавинного пробоя $U_{\text{прб}}$. Считайте, что данное явление наступает при напряженности электрического поля $E = 1,5 \cdot 10^7 \text{ В/м}$.

Задача 4.

Имеется резкий p - n -переход, изготовленный из кремния и находящийся при температуре 300 К . сначала напряжение смещения отсутствует. Затем к переходу прикладывают такое отрицательное смещение, что ток через диод становится равным 1 мА . Концентрация легирующих примесей по обе стороны перехода составляет 10^{-6} м^2 . Вычислите время, за которое напряжение смещения возрастет до -10 В .

Указание: прежде всего найдите заряд, накопленный в диоде, смещенном напряжением -10 В , при известной высоте потенциального барьера.

Задано: $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$; $\varepsilon_{\text{ап}} = 1,062 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/см}$.

Задача 5.

Известно, что при $T = 300\text{ К}$ кремниевый диод pn^+ -типа, т.е. с повышенным уровнем легирования n -области, имеет следующие параметры: $W_p = 100\text{ мкм}$; $D_n = 20 \text{ см}^2\text{с}^{-1}$; $\tau_n = 0,2\text{ мкс}$; $A = 10^{-3} \text{ см}^2$. Вычислите:

- избыточную концентрацию электронов в p -области как функцию расстояния от плоскости перехода, считая, что ток $I = 1,2\text{ мА}$;
- электрический заряд, накопленный в нейтральной p -области;
- номиналы основных элементов эквивалентной схемы диода для малого сигнала при заданном токе I , т.е. дифференциального (динамического) сопротивления и диффузионной емкости.

Задача 6.

Имеется солнечный элемент, который при освещении ведет себя подобно обычному кремниевому диоду при прямом освещении ($U > 0$). В темновом режиме при комнатной температуре параметры элемента таковы: $I_{\text{нас}} = 3,3\text{ нА}$; $\alpha = 1,3$ [идеальный коэффициент использования]; $A = 1,7 \text{ см}^2$; $r_i = 0,8\text{ Ом}$ (внутреннее сопротивление прибора). При освещении солнечного элемента в резистивной нагрузке проходит ток $I_n = 36\text{ мА}$. Определите:

- напряжение U_x в режиме холостого хода ($I = 0$);
- связь между сопротивлением нагрузки R_n и током I ; положительным или отрицательным является данный ток?
- значения величин I , U , и R_n , обеспечивающие максимальную мощность в нагрузке, а также саму эту мощность;
- коэффициент насыщения вольт – амперной характеристики солнечного элемента;
- выходное напряжение при $R_n = 2R_{\text{нм}}$ и $R_n = 0,5R_{\text{нм}}$.

Задача 7.

а) Вычислите плотность заряда Q_{ss} , возникающего на границе раздела $\text{SiO}_2 - \text{Si}$ в некоторой МОП-структуре, имеющей алюминиевую металлизацию, подложку p -типа, концентрацию акцепторов $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и толщину оксидного слоя $0,1\text{ мкм}$. Известно, что напряжение плоских зон составляет $-2,3\text{ В}$.

б) К затвору МОП-конденсатора, рассмотренного в п. а), приложено отрицательное напряжение в несколько сотых долей вольт; прибор находится при достаточно высокой температуре. Определите плотность заряда Q_B , связанного с обедненной областью, а также плотность подвижного заряда Q_n , вытесненного на поверхность, если напряжение плоских зон составляет в данном случае $-1,3\text{ В}$. Исходные данные: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}$; $\varepsilon_{\text{ок}} = 4$; $U_T = 0,026\text{ В}$; $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$; $q\Phi_{\text{МОК}} = 3,2\text{ эВ}$; $\Phi_{\text{Si-SiO}_2} = 3,25\text{ эВ}$.

	<p>Задача 8. Идеальный МОП-конденсатор имеет слой оксида SiO₂ толщиной 0,1 мкм и подложку из кремния р-типа с концентрацией акцепторов 10¹⁶ см⁻³. Вычислите удельную емкость в случаях: а) U_з = 2 В; f = 1 Гц; б) U_з = 20 В; f = 1 Гц; в) U_з = 20 В; f = 1 МГц.</p> <p>Исходные данные: $\epsilon_{ок} = 4$; $\epsilon_n = 12$; $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$</p>
Критерии оценки и шкала оценивания в баллах	<p>При выставлении баллов за ответы на домашние задания учитывается правильность выполнения практического задания и решения задач.</p> <p>Максимальное количество баллов за каждое домашнее задание – 2</p>

Наименование оценочного средства	Контрольная работа (КнР)
Представление и содержание оценочных материалов	<p>Контрольная работа выполняется каждым студентом индивидуально в соответствии с вариантом контрольной работы. Каждому студенту выдается индивидуальное задание.</p> <p style="text-align: center;"><i>Перечень примерных заданий контрольной работы</i></p> <p>Спроектировать топологическую структуру полупроводниковой интегральной микросхемы со следующими параметрами сопротивлений и транзисторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) R1=3 кОм, R2=2 кОм, R3=1 кОм, $\beta=100$, I_{Кmax}=10 мА, U_{КЭmax}=10В. 2) R1=4 кОм, R2=2 кОм, R3=2 кОм, $\beta=110$, I_{Кmax}=5 мА, U_{КЭmax}=15В. 3) R1=3 кОм, R2=1 кОм, R3=1,5 кОм, $\beta=120$, I_{Кmax}=7 мА, U_{КЭmax}=20В. 4) R1=4 кОм, R2=1 кОм, R3=2,5 кОм, $\beta=130$, I_{Кmax}=1 мА, U_{КЭmax}=25В. 5) R1=3 кОм, R2=2 кОм, R3=3 кОм, $\beta=140$, I_{Кmax}=1 мА, U_{КЭmax}=10В. 6) R1=4 кОм, R2=2 кОм, R3=3,5 кОм, $\beta=150$, I_{Кmax}=5 мА, U_{КЭmax}=15В. 7) R1=3 кОм, R2=1 кОм, R3=4 кОм, $\beta=160$, I_{Кmax}=7 мА, U_{КЭmax}=20В. 8) R1=4 кОм, R2=1 кОм, R3=4,5 кОм, $\beta=170$, I_{Кmax}=10 мА, U_{КЭmax}=25В.
Критерии оценки и шкала оценивания в баллах	<p>При оценке выполненной контрольной работы учитываются следующие критерии:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правильность разработки топологии в соответствии с заданием; - соблюдение размеров контактных площадок и элементов; - отрисовка контура компонента топологии. <p>Максимальное количество баллов - 10</p>

Наименование оценочного средства	Курсовой проект (КП)
Представление и содержание оценочных материалов	<p>Задания на курсовой проект:</p> <p>Целью курсовой работы является проектирование электронного устройства средствами современного САПР.</p> <p>Задание на курсовую работу предусматривает выполнение следующих пунктов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Выполнить анализ предложенной функциональной схемы с целью уточнения перечня необходимых узлов схемы. 2) Произвести выбор элементов, необходимых для комплектации узлов схемы. 3) Создать библиотеку компонентов, необходимых для реализации схемы. 4) Смоделировать и провести анализ целостности сигналов схемы 5) Провести анализ теплового режима работы схемы 6) Подготовить выходные файлы для изготовления и сборки.

	<p>Объем расчетно-пояснительной записки - 30-35 листов. Расчет необходимо провести с использованием современных САПР.</p> <p>Изложение текста и оформление курсовой работы выполняют в соответствии с требованиями ГОСТов 7.32-2001, 7.1-2003, 7.12-93, 7.82-2001. Страницы текста курсового проекта о НИР и включение в отчет иллюстраций и таблиц должны соответствовать формату А4 по ГОСТ 9327. Курсовой проект должен быть выполнен печатным способом с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа белой бумаги формата А4 через полтора интервала. Цвет шрифта должен быть черным, высота букв, цифр и других знаков - не менее 1,8 мм, размер шрифта 14. Текст курсового проекта следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: правое 10 мм, верхнее - 20 мм, нижнее 20 мм; левое - 25 мм.</p> <p>Качество напечатанного текста и оформление иллюстраций, таблиц, распечаток с ЭВМ должно удовлетворять требованию их четкого воспроизведения. Нумерация страниц курсового проекта и приложений должна быть сквозная. На титульном листе, содержании и первом листе введения номер страницы не ставят, но в общую нумерацию включают. Страницы курсового проекта следует нумеровать арабскими цифрами. Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки. Наименование структурных элементов работы «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ» служат их заголовками. Их следует располагать в середине строки без точки в конце и печатать прописными буквами.</p> <p>Основную часть курсового проекта следует делить на разделы, подразделы и пункты. Пункты, при необходимости, могут делиться на подпункты. При делении текста курсовой работы на подпункты необходимо, чтобы каждый пункт содержал законченную информацию. Разделы, подразделы, пункты и подпункты следует нумеровать арабскими цифрами и записывать с абзацного отступа. Введение, заключение, список использованной литературы не нумеруются. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего текста, за исключением приложений.</p>
<p>Критерии оценки и шкала оценивания в баллах</p>	<p>Курсовой проект оценивается следующим образом.</p> <p>85-100 баллов (отлично):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Курсовой проект выполнен самостоятельно, имеет научно-практический характер, содержит элементы новизны. Содержание полностью соответствуют варианту. 2. Студент показал знание теоретического материала по рассматриваемой проблеме, умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщение и выводы. 3. Материал излагается грамотно, логично, последовательно. 4. Оформление отвечает требованиям написания курсового проекта. 5. Во время защиты студент показал умение кратко, доступно (ясно) представить результаты курсового проекта, адекватно ответить на поставленные вопросы. <p>65-84 балла (хорошо):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Курсовой проект выполнен самостоятельно, имеет научно-практический характер, содержит элементы новизны. Содержание соответствуют варианту. 2. Студент показал знание теоретического материала по рассматриваемой проблеме, однако умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщения и выводы вызывают у него затруднения. 3. Материал не всегда излагается логично, последовательно. 4. Имеются недочеты в оформлении курсового проекта. 5. Во время защиты студент показал умение кратко, доступно (ясно) представить результаты курсового проекта, однако затруднялся отвечать на поставленные вопросы. <p>55-64 балла (удовлетворительно):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Курсовой проект не содержит элементы новизны. Содержание соответствуют варианту.

	<p>2. Студент не в полной мере владеет теоретическим материалом по рассматриваемой проблеме, умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщение и выводы вызывают у него затруднения.</p> <p>3. Материал не всегда излагается логично, последовательно.</p> <p>4. Имеются недочеты в оформлении курсового проекта.</p> <p>5. Во время защиты студент затрудняется в представлении результатов курсового проекта и ответах на поставленные вопросы.</p> <p>0-54 балла (неудовлетворительно): Выполнено менее 50% требований к курсовому проекту и студент не допущен к защите.</p>
--	--

Наименование оценочного средства	Тест (Тест)
Представление и содержание оценочных материалов	<p>На каждой лекции студентам выдается комплект тестовых заданий, состоящий из 10 вопросов. Комплект вопросов формируется из банка вопросов в случайном порядке и содержит 10 вопросов.</p> <p><i>Примеры вопросов для теста:</i></p> <p>1. Основной функцией, которую выполняют устройства на интегральных микросхемах, является Выберите один ответ: а) обработка информации б) управление устройствами в) передача данных</p> <p>2. Проектирование современных СТС, в том числе и систем на кристалле (SoC), включает следующие уровни (этапы): Выберите один ответ: а) системный (процессор - память - коммутатор, ППК); микросхемный; регистровый; логический; схемотехнический; топологический; компонентный. б) топологический системный регистровый в) логический г) параметрический</p> <p>3. На каком этапе в базу данных проекта в формализованном виде вводятся требования к конструкции БИС (размер кристалла, расположение выводов, конструкция корпуса), необходимые сведения о технологических процессах, требования на выходные электрические параметры и т. д. Выберите один ответ: а) разработка спецификации б) разработка топологии в) разработка принципиальной схемы</p> <p>4. При проектировании топологии БИС необходимо решать следующие задачи:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • синтез топологии; • контроль топологии; • проектирование фотошаблонов. <p>Задачами синтеза топологии являются: Выберите один ответ:</p> <p>а) разработка библиотеки элементов</p> <ul style="list-style-type: none"> • разбиение схемы на части — декомпозиция электрической схемы; • размещение элементов на кристалле; • проведение соединений между эквипотенциальными выводами элементов. <p>б) проверка конструкторско-технологических ограничений</p> <ul style="list-style-type: none"> • проверка соответствия топологии электрической схеме; • экстракция электрической схемы из топологии. <p>в) представление области экспонирования в виде набора прямоугольных областей, которые могут быть обработаны микрофотонаборной установкой (МФНУ) или генератором изображений (ГИ)</p> <p>г) преобразование описания фотооригинала в последовательность команд в соответствующем формате, представляющих управляющую информацию для МФНУ и ГИ</p>
Критерии оценки и шкала оценивания в баллах	<p>При выставлении баллов за тест учитываются следующие критерии: Каждый верный ответ на задание дает возможность обучающемуся получить 0,4 балла. Максимальное количество баллов за тест – 4 балла.</p>

Наименование оценочного средства	Отчет по лабораторной работе (ОЛР)
Представление и содержание оценочных материалов	<p>Лабораторная работа выполняется согласно Методическим указаниям о выполнении лабораторной работы, выданной преподавателем на занятии.</p> <p>Отчёт по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.). Титульный лист отчёта должен содержать фразу: “Отчёт по лабораторной работе «Название работы», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)”. Внизу листа следует указать текущий год.</p> <p>Отчёт, как правило, должен содержать следующие основные разделы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Цель работы; 2. Теоретическая часть; 3. Оборудование (приборы, используемые в лабораторной работе); 4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики, снимки экранов приборов); 5. Выводы (основные приобретённые знания о предмете исследования).

<p>Критерии оценки и шкала оценивания в баллах</p>	<p>При выставлении баллов за отчет о выполнении лабораторной работы учитываются следующие критерии:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Правильность выполнения задания(ий) лабораторной работы 2. Владение методами и технологиями, запланированными в лабораторной работе 3. Владение специальными терминами и использование их при ответе. 4. Умение объяснять, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы 5. Степень самостоятельности при выполнении заданий лабораторной работы <p>Теоретическая часть должна содержать минимум необходимых теоретических сведений о физической сущности исследуемого явления и его описание. Не следует копировать целиком или частично методическое пособие (описание) лабораторной работы или разделы учебника.</p> <p>В разделе «Оборудование» необходимо описать, с помощью каких приборов и каким образом проводилось исследование.</p> <p>Рисунки, блок-схемы установок, описание технологии и её особенностей, необходимость предварительных измерений (градуировка, настройка и т.п.) – все это должно быть представлено в указанном разделе.</p> <p>Раздел «Результаты» включает в себя таблицы экспериментальных данных, графики, полученные при выполнении лабораторной работы, снимки экранов приборов. Для построения графиков можно использовать миллиметровую бумагу. На графиках обязательно должны быть указаны масштабы по осям, начало отсчета, размерности и обозначения физических величин, откладываемых по осям. Экспериментальные точки на графиках должны быть заметны, четко выделены. Рисунки, графики и таблицы нумеруются и подписываются заголовками.</p> <p>Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Здесь важно отметить, какие новые знания о предмете исследования были получены при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы. Возможно, получены дополнительные формулы, данные, предложены оригинальные методики, – это должно быть отражено в выводах.</p> <p>Выводы по работе каждый студент делает самостоятельно.</p> <p>При сдаче отчёта преподаватель может сделать устные и письменные замечания, задать дополнительные вопросы. Все ответы на дополнительные вопросы, новые расчёты, обсуждения выполняются студентом на отдельных листах, включаемых в отчёт (при этом в тексте основного отчёта делается сноска или другой значок, которому будет соответствовать новый материал). При этом письменные замечания преподавателя должны остаться в тексте для ясности динамики работы над отчётом. Объём отчёта должен быть оптимальным для понимания того, что и как сделал студент, выполняя работу. Обязательные требования к отчёту включают общую и специальную грамотность изложения, а также аккуратность оформления.</p> <p>Максимальное количество баллов за отчет – 5</p>
--	--

4. Оценочные материалы промежуточной аттестации

<p>Наименование оценочного средства</p>	<p>Зачет с оценкой (30)</p>
<p>Представление и содержание оценочных материалов</p>	<p>Зачет проводится в письменной форме, экзаменуемый получает билет, в котором содержится два теоретических вопроса и задача.</p> <p><i>Вопросы для подготовки к зачету.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Порядок проектирования ИМС.

2. Рабочие слои ИМС.
3. Рабочие слои полупроводника.
4. Обобщенные нормы проектирования ИМС
5. Контакт «металл-полупроводник», «металл-металл»
6. Межсоединения в ИМС. Материалы, ширина, сопротивление и емкость токоведущих дорожек.
7. Общие вопросы проектирования биполярных ИМС. Биполярный вертикальный p-p-n-транзистор: принцип работы, параметры, конструкция, топология, расчет.
8. Горизонтальный p-p-n-транзистор.
9. Многоэмиттерный вертикальный p-p-n-транзистор.
10. Масштабирование биполярных транзисторов.
11. Новые конструкции биполярных транзисторов
12. Малосигнальные эквивалентные схемы биполярных транзисторов.
13. SPICE-модели БП-транзисторов. Параметры моделей.
14. Резисторы и индуктивности ИМС
15. Конденсаторы и диоды ИМС
16. Токоведущая дорожка как распределенная RC-цепь. Секционированная шина с формирова­телем.
17. Пересечения и перемычки токоведущих дорожек
18. Согласование активных и пассивных компонентов ИМС.
19. Режимы работы МОП-структуры и типы транзисторов.
20. Электрические характеристики МОП-транзисторов.
21. Проектирование МОП-транзисторов с индуцированным каналом.
22. МОП-транзистор на сапфире или изолирующей подложке.
23. МОП-транзистор со встроенным (собственным) каналом
24. Влияние поверхностных дефектов на параметры МОП-транзисторов.
25. Особенности МОПТ с коротким и узким каналами
26. Малосигнальные эквивалентные схемы МОП-транзисторов.
27. SPICE-модели МОП- транзисторов. Параметры моделей.
28. КМОП-интегральные схемы. КМОП-инвертор.
29. Многоходовые логические КМОП-элементы
30. ИМС на nМОП-транзисторах. Масштабирование МОП ИМС
31. Подложки в гибридных ИМС. Проектирование тонкопленочных резисторов и пленочных конденсаторов
32. Проектирование пленочных индуктивностей, проводников и контактных площадок. Навесные компоненты ГИМС
33. Защита пленочных элементов ГИМС. Навесные элементы ГИМС
34. Разработка топологии гибридных ИМС
35. Разновидности гибридных ИМС: на основе тантала, на полиимидной подложке, с применением сквозного анодирования алюминия, с применением термопластиков
36. Защита выводов микросхем от статического электричества
37. Корпуса и тепловой расчет микросхем
38. Оценочный расчет и обеспечение тепловых режимов гибридных ИМС

Примеры задач для решения на зачете.

1. Имеется полупроводник p-типа. Каким будет положение уровня Ферми относительно энергии акцепторного уровня при $T = 0$ и при некоторой температуре $T = T_{\max}$?
2. Образец кремния находится в состоянии термодинамического равновесия и содержит донорные примеси с концентрацией $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ найдите температуру, при которой $p = 0,1 \cdot n$. Покажите, что эта температура превышает 50 К.
3. Имеется равновесный образец германия при температуре 400 К. Вычислите: а) концентрацию дырок и электронов, если образец легирован атомами сурьмы

(элемент V группы) с концентрацией $2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$; б) концентрацию носителей, которая установится после того, как проведено легирование атомами индия (элемент III группы) с концентрацией $4,8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

4. а) Покажите, что в слаболегированном полупроводнике p -типа удельное сопротивление максимально, если $\mu_n / \mu_p > 1$. б) Вычислите концентрацию акцепторных атомов акцепторной примеси N_a , которая потребуется для достижения максимального удельного сопротивления. Примите для кремния $\mu_n / \mu_p = 2,18$; $n_i = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

5. В образце кремния электрон массой m имеет тепловую энергию порядка kT , которая связана со средней скоростью теплового движения соотношением $E = 3kT/2$. Если известно, что $\mu_n = 1350 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ покажите, что при комнатной температуре скорость дрейфа электронов мала по сравнению со скоростью теплового движения, если напряженность внешнего поля 10 В/см . Убедитесь, что при напряженности поля 1000 В/см выполняется обратное неравенство.

6. Пластина из германия n -типа имеет удельное сопротивление $\rho = 0,1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и ширину $d = 10^{-2} \text{ см}$. К пластине приложена разность потенциалов $U = 1 \text{ В}$. Вычислите: а) плотность тока; б) время, которое потребуется для того, чтобы носитель заряда пересек пластину; в) отношение плотностей токов дырок и электронов. Покажите, что $\mu_n = 3900 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $\mu_p = 1900 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $n_i = 2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

7. Имеется образец германия с поперечным сечением $0,1 \times 0,2 \text{ см}$ и концентрацией легирующих примесей 10^{17} см^{-3} . Вдоль образца протекает ток $0,6 \text{ А}$. Перпендикулярно направлению тока действует магнитное поле с индукцией $0,5 \text{ Тл}$. Вычислите напряжение Холла между контактами по узким сторонам боковой поверхности образца.

8. Имеется два диода, один из которых выполнен из кремния, а другой – из германия. Вычислите: а) высоту потенциального барьера U_0 в обоих диодах, считая, что концентрация легирующих примесей $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $N_d = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ в них одинакова; б) максимальную напряженность электрического поля и толщину области перехода в каждом диоде; в) высоту потенциального барьера и параметры x_n и x_p для каждого диода полагая, что обратное смещение $U = -10 \text{ В}$. Изобразите графики распределения пространственного заряда и напряженности электрического поля.

9. Имеется p - n – переход, легированный примесями с концентрацией $N_a = 5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ и $N_d = 10^{23} \text{ м}^{-3}$ используя уравнение Пуассона, вычислите: а) толщину области перехода, если максимальная напряженность электрического поля в ней составляет 10^7 В/м ; б) внутреннее напряжение, существующее в области перехода.

10. Имеется образец кремния с параметрами $n_i = 10^{16} \text{ м}^{-3}$ и $N_d = 10^{20} \text{ м}^{-3}$. В некоторую точку полупроводника инжектируются избыточные носители с концентрацией 10^{18} м^{-3} . Вычислите отношение p/n в данной точке, а также процентное изменение параметров p и n вследствие инжекции. Какой уровень инжекции (низкий или высокий) здесь создается? Поясните ответ.

11. Кремниевый p - n – переход, находящийся при комнатной температуре, имеет концентрацию примесей $N_a = 10^{24} \text{ м}^{-3}$ и $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$. Вычислите: а) высоту потенциального барьера U_0 ; б) максимальное значение внешнего напряжения, при котором еще сохраняется низкий уровень инжекции. Известно, что $n_i = 1,48 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$.

12. а) Объясните, возможна ли ситуация, когда в p - n переходе высота потенциального барьера U_0 превышает ширину запрещенной зоны E_g ;
- б) на диаграмме энергетических зон изобразите квазиуровни Ферми E_{Fn} и E_{Fp} для случая равномерно освещенного диода, к которому не приложено внешнее напряжение;
- в) объясните, можно ли ожидать, что в диоде с p - n – переходом на арсениде галлия с однородно легированными n и p – областями и находящемся под напряжением $U > 0$ доминирует инжекция электронов. Считайте, что $\tau_n = \tau_p$ и $\mu_n \gg \mu_p$.
13. а) Найдите выражения для заряда Q_B , связанного с обедненной областью, поверхностного потенциала и напряженности электрического поля на поверхности как функции концентрации акцепторной примеси в режиме сильной инверсии.
- б) Изобразите графически зависимости, полученные в пункте а), при изменении концентрации акцепторных атомов от 10^{14} до 10^{17} см^{-3} . Положите, что $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} .
14. Имеется некоторая МОП-структура типа Al – SiO₂ – Si с подложкой p -типа. Вычислите плотность заряда Q_B , если известно, что напряжение Ферми составляет 0,25 В, а концентрация $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} .
15. Вычислите напряжение плоских зон для системы Al – SiO₂ – Si, зависящей лишь от разности работ выхода. Подложка p -типа, находящаяся при температуре 100 К, имеет концентрацию дырок $5 \cdot 10$ см^{-3} . Плотностью заряда Q_{ss} на поверхности можно пренебречь. Исходные данные: $q\Phi_{мп} = 3,2$ эВ; $q\Phi_{по} = 3,25$ эВ; $E_{gp} = 1,1$ эВ; $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} .
16. Некоторая МОП-структура создана на кремниевой подложке p -типа с ориентацией (111). Концентрация акцепторной примеси $N_a = 10^{15}$ см^{-3} , толщина оксидного слоя $x_{ок} = 120$ нм, затвор выполнен из алюминия. Вычислите пороговое напряжение, если известно, что при данной ориентации поверхностная плотность заряда составляет $3 \cdot 10^{11} \cdot q = 48 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Исходные параметры: $\Phi_{мо} = 3,2$ В; $\Phi_{по} = U_F + 3,8$ В.
17. Структура МОП имеет кремниевую подложку p -типа, легированную акцепторной примесью с концентрацией $N_a = 10^{15}$ см^{-3} ; ориентация кристалла (111). Толщина оксидного слоя 1,2 мкм. затвор выполнен из алюминия. Плотность поверхностного заряда на границе раздела оксида-полупроводник. $Q_{ss} = 5 \cdot 10^{11}$ $q = 8 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Найдите пороговое напряжение, если известно, что $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$ см^{-3} ; $q\Phi_{мо} = 3,2$ эВ; $q\Phi_{по} = 3,25$ эВ.
18. В МОП-структуре, изготовленной из кремния n -типа с концентрацией примеси $N_d = 5 \cdot 10^{15}$ см^{-3} имеющей толщину оксидного слоя 100 нм и алюминиевый затвор, пороговое напряжение $-2,5$ В. Вычислите значение величины Q_{ss}/q , представляющей концентрацию носителей на поверхности.
19. Структура МОП имеет подложку из кремния p -типа с концентрацией примеси $N_a = 5 \cdot 10^{14}$ см^{-3} и оксидный слой толщиной 112 нм. Максимальная удельная емкость в режиме малого сигнала на высоких частотах составляет 30 нФ/см² при $U_3 = 3$ В (напряжение, совпадающее с $U_{пз}$) и потенциале $U_s = 0,52$ В, постоянном в режиме инверсии. Вычислите:
- а) пороговое напряжение и соответствующую емкость C_{min} и если максимально достижимая толщина обедненной области $W_m = 1,17$ мкм;
- б) плотность заряда Q_{ss} с учетом зарядов только в оксидном слое;
- в) плотность заряда в обедненной области, инверсном слое, оксидном слое и металле

при $C_3 = 0$.

Известно, что $q\Phi_{МП} = -0,3$ эВ.

20. Конденсаторы типа МОП имеют подложки с концентрациями примеси $N_a = 10^{14}$; 10^{15} и 10^{16} см^{-3} . Вычислите для каждого из трех указанных значений концентрации:

а) максимальную толщину области пространственного заряда;

б) пороговые напряжения, полагая, что $\Phi_{МП} = -0,1$ В; $C_0 = 3,45 \cdot 10^{-8}$ Ф/см²; $x_0 = 100$ нм; $Q_{SS} = 1,6 \cdot 10^{-8}$ Кл/см².

21. Вычислите напряжения плоских зон для следующих распределений плотности положительного заряда:

а) равномерное распределение в направлении поперек оксидного слоя с плотностью $1,5 \cdot 10^{15}$ $q = 2,4 \cdot 10^{-4}$ Кл/см²;

б) ступенчатое распределение с нулевой плотностью в пределах половины расстояния от затвора до подложки и с постоянной плотностью $3 \cdot 10^{15}$ $q = 4,8 \cdot 10^{-4}$ Кл/см в остальной области вплоть до границы раздела между оксидным слоем и полупроводником;

в) линейное распределение, начинающееся с нулевой плотности на затворе и достигающее $3 \cdot 10^{15}$ $q = 4,8 \cdot 10^{-4}$ Кл/см² на границе раздела.

Толщина оксидного слоя 80 нм. относительная диэлектрическая проницаемость подложки равна 3,9.

22. Подсчитайте максимальную поверхностную плотность подвижного заряда дырок Q_p которая может наблюдаться в МОП-конденсаторе с алюминиевым затвором при инжекции на границе раздела Si – SiO₂. Подложка из кремния *n*-типа легирована с концентрацией примеси $N_d = 10^{15}$ см^{-3} , толщина оксидного слоя 100 нм. К затвору приложен импульс напряжения с амплитудой – 10 В, напряжение на границе раздела становится по меньшей мере равным – 2 В. Известно, что $Q_{SS} = 5 \cdot 10^{10}$ q Кл/см²; $\Phi_{МП} = -0,3$ В.

23. Полевой МОП-транзистор с каналом *p*-типа создан на кремниевой подложке *n*-типа с концентрацией примеси $N_d = 10^{16}$ см^{-3} . Затвор выполнен из алюминия, подзатворным диэлектриком служит слой оксида кремния толщиной $x_{ок} = 100$ нм. Известно, что плотность заряда на границе раздела $Q_{SS} = 2 \cdot 10^{11}$ $q = 3,2 \cdot 10^{-8}$ Кл/см²; $\Phi_{МП} = -0,25$ В.

Вычислите значения параметров W_m , $U_{ПЗ}$ и $U_{пор}$.

24. а) Имеется кремниевый МОП-транзистор с каналом *n*-типа, имеющий такие параметры: $N_a = 10^{17}$ см^{-3} ; $\Phi_{МП} = -0,95$ В; $Q_{SS} = 5 \cdot 10^{11}$ $q = 8 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Толщина оксидного слоя $x_{ок} = 100$ нм. Вычислите пороговое напряжение. б) Повторите п. а) применительно к транзистору с каналом *p*-типа при концентрации $N_d = 10^{17}$ см^{-3} и тех же значений параметров Q_{SS} и $x_{ок}$. Новое значение $U_{пор}$ определите, учтя изменение уровня Ферми E_F (изменение параметра qU_F составляет 0,407 эВ).

25. Полевой МОП-транзистор с каналом *n*-типа имеет следующие параметры: $\epsilon_{ок} = 4$; $x_{ок} = 100$ нм; $Z/L = 10$; $\mu_n = 1000$ $\text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $U_{пор} = 0,5$ В.

а) Вычислите ток насыщения при $U_3 = 4$ В.

б) Выведите уравнение для выходной характеристики, описывающей зависимость тока истока от напряжения на стоке, если исток и подложка заземлены, а затвор соединен со стоком. Считайте, что $U_{пор} = \text{const}$.

в) Изобразите полученную характеристику графически применительно к исходным; данным и результату, полученному в п. а).

г) Вычислите сопротивление $R = 1/S$ при $U_3 - U_{пор} = 1$ В.

д) Повторите п. г) для случая $Z/L = 1$.

26. а) Имеется МОП-транзистор с каналом p -типа. Концентрация примесей в подложке 10^{15} см^{-3} , толщина оксидного слоя 100 нм. Найдите пороговое напряжение, если $\Phi_{\text{МП}} = -0,6 \text{ В}$; $Q_{\text{SS}} = 5 \cdot 10^{11} \cdot q = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/см}$.

б) Чтобы снизить пороговое напряжение в транзисторе, рассмотренном в п. а), применена ионная имплантация атомов бора. Какова должна быть концентрация этих атомов, чтобы пороговое напряжение стало равным $-1,5 \text{ В}$?

27. Имеется МОП-транзистор с каналом n -типа, работающий в режиме обеднения. Между истоком и землей включен источник постоянного напряжения $+5 \text{ В}$. Известно, что $Z = 200 \text{ мкм}$; $L = 10 \text{ мкм}$; $x_{\text{ок}} = 0,1 \text{ мкм}$; $U_{\text{пор}} = -1 \text{ В}$; $U_3 = 0$; $\epsilon_{\text{ок}} = 4$; $\mu_n = 600 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Вычислите ток истока.

28. Изготовлен МОП-транзистор с каналом n -типа, работающий в режиме обогащения и имеющий следующие параметры: $Z = 100 \text{ мкм}$; $L = 10 \text{ мкм}$; $x_{\text{ок}} = 0,1 \text{ мкм}$; $U_{\text{пор}} = +1 \text{ В}$; $\mu_n = 450 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Найдите значения величин $I_{\text{с нас}}$ и $S_{\text{нас}}$, если $U_3 = U_{\text{с}} = +5 \text{ В}$, а подложка и исток заземлены.

29. Имеется МОП-транзистор с каналом p -типа и с параметрами: $Z/L = 5$; $C_0 = 3,45 \cdot 10^{-8} \text{ Ф/см}^2$; $\mu_p = 200 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; $U_{\text{с}} = +5 \text{ В}$; $U_3 - U_{\text{пор}} = 3 \text{ В}$. Найдите значения S и $S_{\text{нас}}$.

30. Имеется МОП-транзистор с каналом p -типа у которого $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ $Q_{\text{SS}} = 5 \cdot 10^{11} \cdot q = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/см}$.

а) Вычислите напряжение $U_{\text{пор}}$, если толщина оксидного слоя $x_{\text{ок}} = 0,1 \text{ мкм}$.

Повторите расчет при $x_{\text{ок}} = 1 \text{ мкм}$.

б) Используйте уравнение

$$I_{\text{с}} = (Z/L) \mu_p C_0 \left[(U_3 - U_{\text{пор}}) \cdot U_{\text{с}} - \frac{1}{2} U_{\text{с}}^2 \right],$$

постройте стокзатворные характеристики транзисторов с параметрами, указанными в п. а). Считайте, что ток $I_{\text{с нас}}$ постоянен после перехода за точку отсечки. Положите, что $\mu_p = 150 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, $Z/L = 5$.

в) Для оценки частотных свойств МОП-транзистора используют понятие граничной частоты $f_{\text{гр}} = S/(2\pi C_3 LZ)$, где удельная емкость затвора C_3 совпадает по смыслу с емкостью C_0 при конкретно выбранном напряжении. Выразите величину $f_{\text{гр}}$ вдали от начала характеристики через параметры материалов и размеры прибора. Найдите значение $f_{\text{гр}}$ для транзистора, описанного в п. а), при $L = 1 \text{ мкм}$.

31. Полевой МОП-транзистор с каналом p -типа и алюминиевым затвором имеет следующие параметры: $x_{\text{ок}} = 100 \text{ нм}$; $N_d = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; $Q_{\text{SS}} = 10^{11}$; $q = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/см}$; $L = 10 \text{ мкм}$; $Z = 50 \text{ мкм}$; $\mu_p = 230 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

а) Найдите ток $I_{\text{с нас}}$ при $U_3 = -4 \text{ В}$ и -8 В . Изобразите вольт-амперную характеристику $I_{\text{с}} - U_{\text{с}}$

б) Вычислите удельную емкость C_0 и граничную частоту $f_{\text{гр}} = S/(2\pi C_3 LZ)$, если $U_3 - U_{\text{пор}} = 1 \text{ В}$. Повторите расчет для случая, когда $Z = 10 \text{ мкм}$; $L = 50 \text{ мкм}$.

Известно, что $\Phi_{\text{МО}} = 3,2$; $\Phi_{\text{ПО}} = U_{\text{Ф}} + 3,8$; $\Phi_{\text{МП}} = 3,2 - (3,8 + U_{\text{Ф}})$ (все величины в вольтах).

32. Полевой транзистор с управляющим $p-n$ - переходом и каналом n -типа имеет ток стока 2 мА при $U_3 = 0$ и напряжение отсечки $U_{\text{отс}} = 65 \text{ В}$. Вычислите:

а) ток $I_{\text{с}}$ при $U_3 = -5 \text{ В}$;

б) ток $I_{\text{с}}$ при $U_3 = -2,5 \text{ В}$;

в) крутизну стокзатворной характеристики при напряжении на затворе – 5 В; – 2,5 В и 0 В.

33. Полевой транзистор с управляющим $p-n$ – переходом и каналом n -типа имеет следующие параметры: $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$; $N_d = 10^{14} \text{ см}^{-3}$; $a = 0,5 \text{ мкм}$; $L = 20 \text{ мкм}$; $Z = 100 \text{ мкм}$; $\mu_p = 1000 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Вычислите значения величин U_0 , $U_{\text{отс}}$, G_0 , S и $S_{\text{нас}}$. При нахождении S можно положить $U_3 = U_{\text{отс}}/2$ и $U_c = -U_{\text{отс}}/4$; это же значение U_3 , следует использовать, находя параметр $S_{\text{нас}}$.

34. Для некоторого полевого транзистора с управляющим $p-n$ – переходом и каналом n -типа заданы следующие параметры: $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; $N_a = 10^{19} \text{ см}^{-3}$; $a = 1 \text{ мкм}$; $L = 20 \text{ мкм}$; $Z = 100 \text{ мкм}$; $\mu_n = 1350 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Вычислите напряжение отсечки, ток насыщения стока при $U_3 = 0$, а также граничную частоту.

35. Известно, что полевой транзистор с управляющим $p-n$ – переходом и каналом p -типа имеет следующие параметры: $N_d = N_a = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$; $a = 5 \text{ мкм}$; $Z/L = 25$; $D_p = 12,5 \text{ см}^2/\text{с}$. Вычислите: а) Напряжение U_3 при котором канал исчезает независимо от значения напряжения U_c ; б) напряжение отсечки при $U_3 = 5 \text{ В}$; в) эффективную толщину канала $2a_{\text{эф}}$ при $U_c = 0$ и $U_3 = 5 \text{ В}$; г) сопротивление канала при $U_c = 0$ и $U_3 = 5 \text{ В}$.

36. а) Изобразите энергетические диаграммы для транзистора типа $n-p-n$, работающего в активном режиме при нормальном и инверсном включении. б) Выполните указанное построение применительно для транзистора типа $p-n-p$, работающего в режимах насыщения и отсечки.

37. Имеется транзистор типа $n^+ - p - n$, находящийся в состоянии термодинамического равновесия. Изобразите графически: а) диаграмму энергетических зон; б) распределение заряда; в) распределение напряженности электрического поля; г) распределение потенциала, полагая, что в n^+ -области $U = 0$; д) направление потоков частиц и электрических токов для случая, когда прибор работает в активном режиме.

38. Укажите, какими должны быть напряжения $U_{\text{бэ}}$ и $U_{\text{кб}}$, чтобы транзистор типа $n^+ - p - n$ работал в режиме: а) активном, б) насыщения, в) отсечки, г) инверсном. Проведите анализ применительно к транзистору типа $n^+ - p - n$.

39. Идеальный $n-p-n$ – транзистор имеет площадь поперечного сечения $A = 10^{-6} \text{ м}^2$ и концентрацию избыточных неосновных носителей в базе около эмиттерного перехода 10^{20} м^{-3} (за счет инжекции через переход эмиттер – база). Активная толщина базы $W_{\text{б}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, подвижность электронов $\mu_n = 0,39 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, транзистор находится при комнатной температуре.

а) Изобразите ориентировочный график распределения концентрации электронов в базовой области.
б) Оцените ток коллектора.
в) Укажите ограничения, в рамках которых получены ответы в п. а) и б).

40. Транзистор типа $n^+ - p - n$ работает в инверсном режиме.

а) Изобразите график распределения концентрации носителей во всех трех нейтральных областях транзистора.
б) Приведите графики распределения токов и потоков носителей заряда с соблюдением относительных масштабов.

Критерии оценки и шкала оценивания в баллах	При выставлении баллов за ответы на задания в билете учитываются следующие критерии: Правильность выполнения практического задания Владение методами и технологиями, запланированными в рабочей программе дисциплины
---	--

<p>Владение специальными терминами и использование их при ответе. Умение объяснять, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы Логичность и последовательность ответа Демонстрация способности участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем</p> <p>От 36 до 40 баллов оценивается ответ, который показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа.</p> <p>От 32 до 35 баллов оценивается ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна – две неточности в ответе.</p> <p>От 30 до 31 баллов оценивается ответ, свидетельствующий, в основном, о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа.</p> <p>Максимальное количество баллов за зачет – 40</p>
