МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра физики полупроводников

Согласовано, декан ФФ
_____ Блинов В.Е.
подпись
«04» 06 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**
Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**
Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объём	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачёт	Дифференцированный зачёт	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	72	16		16		18	18	2			2
Всего 72 часа/ 2 зачётных единиц, из них: - контактная работа 36 часа											
Компетенции ПК-1 (СУОС 03.03.02 Физика)											

Ответственный за образовательную программу
д.ф.-м.н., проф. С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. 3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. 4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий 4
5. Перечень учебной литературы 7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. 7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. 8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. 8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. 8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. 9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Цель освоения дисциплины «Полупроводниковая электроника» – дать магистрантам базовые знания по основным разделам физики полупроводников и полупроводниковых приборов: об электронных свойствах полупроводников и основных физических явлениях в полупроводниках и полупроводниковых приборах, а также о технологиях создания и физических принципах работы полупроводниковых приборов. Программа дисциплины нацелена на формирование обучающегося профессиональной компетенции (ПК):

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 (СУОС 03.04.02 Физика) Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**ПК 1.1** Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. **ПК 1.2** Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	**Знать** основные транспортные и электрофизические явления в полупроводниках и физические принципы работы полупроводниковых приборов, построенных на этих явлениях; основы экспериментальных методов исследования полупроводников и полупроводниковых микроструктур. **Уметь** объяснять микроскопические механизмы транспортных и электрофизических явлений в полупроводниках; отвечать на контрольные вопросы по курсу; решать задачи по физике полупроводников на уровне сложности задания.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Полупроводниковая электроника» относится к спецкурсам магистратуры кафедры физики полупроводников физического факультета НГУ. Для успешного освоения дисциплины «Полупроводниковая электроника» магистранты должны обладать предварительными знаниями основ электродинамики, квантовой механики и статистической физики в объёме бакалавриата физического факультета НГУ. В свою очередь, дисциплина «Полупроводниковая электроника» предоставляет магистрантам теоретические знания и практические навыки, необходимые для обучения в аспирантуре по специальностям «физика полупроводников» и «физика конденсированного состояния», а также для успешного использования транспортных и электрофизических методов исследования полупроводниковых материалов и наноструктур.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоемкость дисциплины составляет: 2 зачётных единиц, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 2 семестр – экзамен

№	Вид деятельности	Семестр
		2
1	Лекции, ч	16
2	Практические занятия, ч	16
3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч из них	36
5	из них аудиторных занятий, ч	32
6	в электронной форме, ч	
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	36
10	Всего, ч	72

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, контрольные работы, домашние задания, консультации, самостоятельная работа студентов, экзамен.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий

Лекции (16 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Введение	
Основные направления развития физики и техники полупроводников. Анализ развития рынка полупроводниковых приборов.	1
Основные физические явления, лежащие в основе полупроводниковых приборов	
Кристаллическая структура. Энергетические зоны. Энергия Ферми. Квазичастицы: электроны, дырки, экситоны, фононы, поляроны. Носители заряда. Генерация и рекомбинация электронов и дырок. Тепловая генерация, концентрация носителей при термодинамическом равновесии. Собственные и примесные полупроводники. Примеси, донорные и акцепторные примеси. Компенсация. Уравнение электронейтральности, закон действующих масс, температурная зависимость энергии Ферми. Явления переноса. Диффузия. Дрейф в электрическом поле. Зависимость дрейфовой скорости от электрического поля и температуры, подвижность. Диод Ганна. Барьеры на границе. Поверхностные состояния. Работа выхода. Двойной заряженный слой. Уровни Тамма. Изгибы зон на поверхности	1

Контакты металл-полупроводник	
Зонные диаграммы. Режимы обеднения и обогащения. Процессы переноса заряда. Вольт-амперные характеристики. Диод Шоттки. Омический контакт. Структуры приборов.	1
***p-n* переход. Диод, стабилитрон**	
Зонные диаграммы. Обеднённый слой и барьерная ёмкость. Вольт-амперные характеристики. Вольт-амперные характеристики. Явления пробоя. Фотогенерация. Схемные функции. Гетеропереходы. Основы технологии: точечные диоды, сплавные диоды, эпитаксиальные диоды. Фотодиод.	1
Полевые транзисторы. МДП структуры. МДП транзистор (MOSFET, FinFET). High-к диэлектрики	
Принцип действия полевого транзистора. Основные характеристики приборов. Эквивалентные схемы полевого транзистора с управляющим переходом.	1
Зонная диаграмма МДП структур. Ёмкость и эквивалентные схемы МДП структур. Вольт-фарадные характеристики. Теория работы МДП транзистора и его основные характеристики. Типы МДП транзисторов. Комплементарные МДП схемы. Технология МДП структур, масштабирование.	1
Биполярные транзисторы	
Зонная диаграмма. Структура и основные режимы работы. Вольт амперные характеристики. Коэффициент усиления тока. Выходные характеристики. Основы технологии. Эквивалентная схема.	2
Схемы на основе биполярных транзисторов. Характеристики и параметры в режиме малых сигналов. Схема с общей базой. Схема с общим эмиттером. Схема с общим коллектором. Эмиттерный повторитель. Составные транзисторы. Транзистор Дарлингтона. Каскодный усилитель. Биполярный транзистор с изолированным затвором.	1
Приборы на основе многослойных *p-n* переходов и другие приборы	
Тиристоры, основные характеристики. Диодный и триодный тиристоры. Полевые тиристоры. Симисторы. Варикапы. Стабисторы (нормисторы). Варисторы. p-i-n диоды.	1
Интегральные схемы. Технология полупроводникового производства	
Дифференциальный усилитель. Выходные каскады. Планарная технология. Трёхмерная технология. Металлизация. Low-к диэлектрики. SILC. Выбраковка интегральных схем электрическими и оптическими методами. Оптический профилометр. Закон Мура.	1
Полупроводниковые датчики (магнитное поле, давление, температура)	
Движение в магнитном поле. Эффект Холла. Датчики магнитного поля. Датчики давления. Датчики температуры.	1
Приборы памяти. ДОЗУ, СОЗУ. Флэш-память и другие приборы энергонезависимой памяти	
Приборы оперативной (энергозависимой) и постоянной (энергонезависимой) памяти. Статическая память (СОЗУ), динамическая память (ДОЗУ): принцип действия.	1

Приборы энергонезависимой памяти, Флэш память. Ресурс записи. Иерархическая структура. Скорость чтения и записи.	
Перспективы развития. SONOS, TANOS, BeSONOS структуры. Резистивная (RRAM) память, сегнетоэлектрическая (ферроэлектрическая, FRAM) память, магниторезистивная (MRAM, STT-RAM) память.	1
Основы цифровой электроники	
Полевой транзистор как ключ. Инвертор. Базовые логические элементы. И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Комбинационные схемы. XOR. Синхронные и асинхронные схемы. RS-, JK- D-, T- триггеры. Метастабильное состояние триггера. Защёлки; асинхронные и синхронные счётчики. Сдвиговый регистр.	2

Практические занятия (16 ч)

Содержание практического занятия	Объем, час
Основные физические явления, лежащие в основе полупроводниковых приборов	
Кристаллическая структура. Энергетические зоны. Энергия Ферми. Квазичастицы: электроны, дырки, экситоны, фононы, поляроны. Носители заряда. Генерация и рекомбинация электронов и дырок. Тепловая генерация, концентрация носителей при термодинамическом равновесии. Собственные и примесные полупроводники. Примеси, донорные и акцепторные примеси. Компенсация. Уравнение электронейтральности, закон действующих масс, температурная зависимость энергии Ферми. Явления переноса. Диффузия. Дрейф в электрическом поле. Зависимость дрейфовой скорости от электрического поля и температуры, подвижность. Диод Ганна. Барьеры на границе. Поверхностные состояния. Работа выхода. Двойной заряженный слой. Уровни Тамма. Изгибы зон на поверхности	1
Контакты металл-полупроводник	
Зонные диаграммы и вольт-амперные характеристики контактов металл-полупроводник в различных режимах	1
***p-n* переход. Диод, стабилитрон**	
Зонные диаграммы контактов *n*-полупроводник-*p*-полупроводник и вольт-амперные характеристики в различных режимах.	1
Полевые транзисторы. МДП структуры. МДП транзистор (MOSFET, FinFET). High-к диэлектрики	
Зонная диаграмма МДП структур. Ёмкость и эквивалентные схемы МДП структур. Вольт-фарадные характеристики. Теория работы МДП транзистора и его основные характеристики. Типы МДП транзисторов. Комплементарные МДП схемы. Технология МДП структур, масштабирование.	1
Биполярные транзисторы	
Зонная диаграмма биполярных транзисторов в различных режимах.	1
Выходные характеристики схем на биполярных транзисторах: с общей базой, с общим коллектором, с общим эммитером. Выходные характеристики составных биполярных и полевых транзисторов.	3
Приборы на основе многослойных *p-n* переходов и другие приборы	

C-V характеристики варикапов. Профили легирования и профили срезов различных исполнений варикапов.	2
Интегральные схемы. Технология полупроводникового производства	
Планарная технология. Контроль качества интегральных схем электрическими и оптическими методами, выбраковка. Знакомство с оптическими методами контроля качества литографических операций на примере опытного лабораторного интерференционного микроскопа-профилометра ОЛИМП (ИФП СО РАН). Масштабирование полупроводниковых микросхем, области применений Low-к и High-к диэлектриков.	1
Полупроводниковые датчики (магнитное поле, давление, температура)	
Топология, реализация и применение датчиков магнитного поля, давления и температуры.	1
Приборы памяти. ДОЗУ, СОЗУ. Флэш-память и другие приборы энергонезависимой памяти	
Области применения приборов оперативной (энергозависимой) и постоянной (энергонезависимой) памяти. Различие между статической и динамической памятью. Примеры энергонезависимой памяти.	2
Основы цифровой электроники	
Таблицы истинности логических элементов: НЕ, И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, XOR.	2

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям, решение задач	8
Подготовка к контрольным работам	4
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы

1. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников: [Учеб. пособие для физ. спец. вузов] / А.И. Ансельм2-е изд., доп. и перераб.М. : Наука., 1978615 с. : ил. (33 экз.)
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977. – 672 с. (8 экз.)
3. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. / С.М. Зи; Пер. с англ. В.А. Гергеля, В.В. Ракитина. Под ред. Р.А. Суриса. – 2-е изд. – М: Мир, 1984. – 455 с. (2 экз.)
4. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Лаб. Базовых Знаний, 2001. – 488 с., ISBN 5-93208-045-0 (1 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

5. Шамирзаев Т. С. Твердотельная электроника: история, современное состояние и перспективы развития: Учебное пособие. URL: http://www.phys.nsu.ru/files/0/kafti/Tverdotelnaya_elektronika_Shamirzaev_T_S_FF_NGU_2011_91s.pdf

6. Квон З.Д., Попов Л.К. Электроны и дырки в тонких слоях полупроводников: учебное пособие. Ч. 1., Новосибирск: НГУ, 2010, 122с.

Материал, представленный на сайте курса (по запросу).

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

7.1 Ресурсы сети Интернет

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:
- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Интернет-ресурсы:

1. Электронный архив: «Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства» - URL: http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html
2. Раздел «Образование» сайта ИФП СО РАН – URL: http://www.isp.nsc.ru/obrazovanie

7.2 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

8.1 Перечень программного обеспечения

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office или регулярно обновляемое свободное ПО LibreOffice, OnlyOffice, Okular.

Для визуализации зонных диаграм МДП и МДМ структур при решении задач рекомендуется использовать специализированное ПО, не требующего лицензирования:

1. Multi-Dielectric Energy Band Diagram Program, URL: https://www.boisestate.edu/qdna/multi-dielectric-energy-band-diagram-program/

8.2 Информационные справочные системы

Не используются.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Механика и теория относительности» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории, в том числе компьютер и мультимедийное оборудование.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы физических демонстраций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете.

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости осуществляется на практических занятиях преподавателем при решении студентом задач, рекомендованных для практических занятий и домашних заданий, обсуждаются идеи и способы решения. Одновременно с этим проводятся индивидуальные консультации обучающихся.

Промежуточная аттестация.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Он проводится в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1. Учитывается также и работа обучающегося в семестре: активность на занятиях и сдача заданий. Необходимым условием получения положительной оценки на экзамене является решение и сдача 70% задач из заданий, выполняемых в течение семестра. Экзамен проводится в конце семестра в период промежуточной аттестации в один этап: ответы на вопросы.

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области полупроводниковой электроники в профессиональной деятельности.

Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции. Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Итоги промежуточной аттестации (экзамена) оцениваются по пятибалльной шкале:

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство

ПК 1.1	Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные транспортные и электрофизические явления в полупроводниках и физические принципы работы полупроводниковых приборов, построенных на этих явлениях; основы экспериментальных методов исследования полупроводников и полупроводниковых микроструктур.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.
ПК 1.2	Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь объяснять микроскопические механизмы транспортных и электрофизических явлений в полупроводниках; отвечать на контрольные вопросы по курсу; решать задачи по физике полупроводников на уровне сложности задания.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	**Шкала оценивания**
Сдача заданий: решены все основные задания в полном объёме без недочетов и ошибок **Экзамен:** – дан развернутый ответ на вопросы билета, – точность и корректность применения терминов и понятий; – умение делать выводы и обобщения, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	*Отлично*
Сдача заданий: решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами **Экзамен:** – дан правильный ответ на вопросы билета,	*Хорошо*

– наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить незначительные ошибки.	
Сдача заданий: решены стандартные задачи, допущены негрубые ошибки **Экзамен:** – дан правильный ответ на один вопрос билета, – наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	*Удовлетвор ительно*
Сдача заданий: решено 50% стандартных задач, имеют место грубые ошибки **Экзамен:** - не даны правильные ответы на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена «неудовлетворительно», – не отвечает на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	*Неудовлетво рительно*

Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень контрольных вопросов

1. Какие основные полупроводниковые приборы используются в современной электронике? Какие у них общие свойства и различия.
2. Какой физический смысл у энергии Ферми в металлах, полупроводниках, диэлектриках?
3. Какие уравнения и методы используются для расчёта положения энергии Ферми?
4. Как электрическое поле проникает в металлы, диэлектрики, полупроводники?
5. Какие кинетические явления происходят в металлах, диэлектриках, полупроводниках при приложении внешнего электрического поля?
6. Объяснить суть физических явлений, лежащих в основе диода Ганна. В каких приборах используются диоды Ганна?
7. Что такое поверхность твёрдого тела? К каким явлениям приводит поверхность? Как нивелировать влияние поверхностных состояний на электронные свойства кремния?
8. Что такое контактная разность потенциалов?
9. Нарисуйте зонную диаграмму контакта металл-полупроводник. Объясните принципы построения зонной диаграммы.
10. Нарисуйте зонную диаграмму контакта металл-полупроводник в режимах обеднения и обогащения. Объясните различия.
11. Нарисуйте зонную диаграмму контакта металл-полупроводник при приложении смещения.
12. Чем отличаются диффузия и инжекция зарядов?
13. Объясните вольт-амперную характеристику диода Шоттки, приведите область применения диода Шоттки.
14. Объясните вольт-фарадную характеристику диода Шоттки.
15. Опишите технологический процесс синтеза диода Шоттки.
16. Приведите область применения омических контактов.
17. Нарисуйте зонную диаграмму p-n перехода. Объясните принципы построения зонной диаграммы.
18. Нарисуйте зонную диаграмму p-n перехода в режимах обеднения и обогащения. Объясните принципы построения зонной диаграммы.
19. Назовите основные составляющие тока в p-n переходе.

20. Объясните вольт-амперную характеристику p-n перехода.
21. Что такое обратный ток (ток насыщения) p-n перехода и как он зависит от температуры?
22. Приведите область применения p-n перехода.
23. В чём заключается явление пробоя p-n перехода. Какое практическое значение теплового и электрического пробоя?
24. Перечислите основные параметры стабилитрона.
25. Как устроен полевой транзистор? Каков принцип его работы?
26. В чём заключается ключевое отличие МДП транзистора от полевого транзистора?
27. Что означают термины «обогащение канала», «обеднение канала», «индуцированный канал»?
28. Объясните зависимости тока в канале стока от приложенного напряжения сток-исток и затвор-подложка.
29. Какие режимы работы МДП транзистора вы знаете? Какие параметры МДП транзистора описывают их?
30. Что такое КПОМ технология?
31. Какие физические явления препятствуют дальнейшему масштабированию МПД структур? Какие технологические приёмы позволяют обойти эти препятствия?
32. Нарисуйте и опишите зонные диаграммы МПД структур и транзисторов.
33. Опишите основные технологические циклы производства МПД структур и транзисторов.
34. Нарисуйте и опишите зонные диаграммы биполярных транзисторов (p-n-p и n-p-n).
35. Какие явления лежат в основе работы биполярного транзистора? Какие характеристики описывают работу биполярного транзистора?

Перечень задач для самостоятельного решения

1. Определить температурную зависимость уровня Ферми в монокристаллическом кремнии без легирующих примесей. Как она изменится при легировании кремния фосфором с концентрацией $N_d = 10^{14}$ см$^{-3}$? При легировании бором с концентрацией $N_a = 10^{18}$ см$^{-3}$? При легировании одновременно фосфором и бором с концентрациями $N_d = N_a = 10^{16}$ см$^{-3}$? Приветствуются как аналитические (численные) методы решения, так и графические.
2. Построить зависимость подвижности от электрического поля для Si и GaAs в широком диапазоне электрических полей (0–10 МВ/см) при температурах $T = 300$, 350, 400 К (каким тепловым режимам и требованиям к работе полупроводниковых приборов соответствуют эти температуры?). Нанести численные метки на оси. Сравните с соответствующими зависимостями для диэлектриков с подвижностью свободных носителей заряда $\mu = 0{,}1$, 1, 10 см^2/В·с.
3. Нарисовать в масштабе зонную диаграмму контакта Si/Au для монокристаллических материалов. Определить зависимость ширины ОПЗ от приложенного смещения. Определить зависимость ёмкости контакта от приложенного смещения. Сравнить с контактами Si/Al, Si/SiO_2/Au, Si/SiO_2/Al.
4. Определить профиль легирования обратно смещённого p-n перехода (варикапа), для которого зависимость резонансной частоты (в совокупности с внешней индуктивностью) линейная от приложенного напряжения $f \sim V$. Для упрощения принять, что площадь варикапа не зависит от координаты. Как измениться профиль легирования при переменной площади?
5. Оценить изменение приложенного напряжения (при сохранении значения электрического поля), протекающего тока, рассеиваемой мощности, времени переключения, производительность прибора при уменьшении линейных размеров МДП транзистора в N раз. Как предотвратить туннельные токи утечек через подзатворный диэлектрик при переходе к следующей проектной норме (масштабировании в 0,7 раз)? При какой проектной норме этот вопрос становится актуальным?

6. Оценить время характеристики материалов (энергетические барьеры на границах разделов, толщины слоёв), используемых для хранения информации в энергонезависимых приборах памяти, к которым предъявляются следующие требования: а) хранения информации в течение 10 лет при температуре 85°C; б) хранения информации в течение 10 лет при температуре 125°C. Какие материалы удовлетворяют этим характеристикам?

Экзаменационные вопросы по полупроводниковой электронике

1. Опишите основные технологические циклы производства биполярных транзисторов.
2. Назовите основные составляющие тока в биполярном транзисторе. Опишите вольт-амперные характеристики.
3. Как связаны токи эмиттера, базы и коллектора?
4. Опишите принцип работы и характеристики схемы с ОБ.
5. Опишите принцип работы и характеристики схемы с ОК.
6. Опишите принцип работы и характеристики схемы с ОЭ.
7. Опишите принцип работы и характеристики тиристора.
8. Что такое диодный тиристор? Чем от отличается от триодного? От полевого?
9. Опишите принцип работы и характеристики симистора.
10. Опишите принцип работы и характеристики варикапа.
11. Опишите принцип работы и характеристики pin диода. В чём заключается отличие от p-n перехода?
12. Опишите принцип работы и назначение стабистора.
13. Чем варистор отличается от варикапа? Опишите принцип работы варистор, назначение.
14. Опишите основные этапы технологии производства СБИС.
15. В чём заключается отличие планарной технологии от вертикальной? Что у них общего?
16. Какие физические явления и процессы ограничивают быстродействие и ресурс СБИС? Какие технологические приёмы позволяют обойти эти ограничения?
17. Опишите области применения high-*к* и low-*к* диэлектриков в СБИС.
18. Опишите движение электрона в полупроводнике, помещённого во внешне магнитное поле.
19. Опишите принцип работы датчиков магнитного поля. Область применения.
20. Опишите принцип работы датчиков давления. Область применения.
21. Опишите принцип работы датчиков температуры. Область применения.
22. Опишите физические явления, лежащие в основе флэш памяти.
23. Какие физические явления и процессы ограничивают быстродействие и ресурс элементов флэш памяти? Какие технологические приёмы позволяют обойти эти ограничения?
24. Какие перспективные виды энергонезависимой памяти вы знаете? Какие физические явления лежат в их основе?
25. Какие полупроводниковые приборы могут быть использованы как ключи? В каких режимах?
26. Как устроен логический инвертор? Как он работает? Объясните его функцию.
27. Как устроен логический элемент И-НЕ? Как он работает? Объясните его функцию.
28. Как устроен логический элемент ИЛИ-НЕ? Как он работает? Объясните его функцию.
29. Как устроена комбинационная схема XOR?
30. Опишите принцип работы RS-триггера. Что такое метастабильное состояние триггера?
31. Опишите принцип работы D-триггера. Что такое метастабильное состояние триггера?
32. Что общего и какие различия у RS- и D-триггеров?
33. Как устроена цифровая защёлка? Объясните принцип её работы.
34. Что такое сдвиговый регистр? Какова область их применимости?

35. В чём отличие асинхронные и синхронные счетчиков? Каковы области их применимости?