

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Регистрационный № УД – 10761/уч.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности

1-31 03 01 Математика (по направлениям)

Направление специальности

1-31 03 01-04 Математика (научно-конструкторская деятельность)

2022

Учебная программа составлена на основе типового учебного плана G31-1-001/пр-тип. от 31.03.2021 и учебного плана G31-1-018/уч. от 25.05.2021

СОСТАВИТЕЛИ:

В.В. Петров — профессор кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

А.Л. Гладков — заведующий кафедрой математической кибернетики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.В. Черный — доцент кафедры «Экспериментальная и теоретическая физика» Белорусского национального технического университета, кандидат физико-математических наук, доцент

В.Г. Шепелевич — профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой математической кибернетики Белорусского государственного университета

(протокол № 4 от 30.11.2021);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 06.01.2022)

Заведующий кафедрой
математической кибернетики
д.ф.-м.н., профессор



Гладков А.Л.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Физические основы электроники» разработана для студентов специальности 1-31 03 01 Математика (по направлениям) направление специальности 1-31 03 01-04 Математика (научно-конструкторская деятельность).

Цели и задачи учебной дисциплины.

Цель учебной дисциплины — формирование у студентов компетенций по перспективным и наиболее актуальным вопросам современной твердотельной электроники, физики и техники полупроводников и полупроводниковых приборов; развитие полученных знаний и навыков для последующих учебы и работы по избранной специальности.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование у студентов фундаментальных представлений о физических процессах, протекающих в полупроводниковых материалах и структурах.
2. Развитие полученных знаний и навыков для последующей работы в области полупроводниковой электроники и математической кибернетики.
3. Формирование у будущих специалистов базовых принципов оценки перспективности применения современных физико-технологических и технических методов для разработки и совершенствования элементов и устройств электронной техники.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Центральное место в производстве и повышении качества микроэлектронной продукции занимают современные технологические процессы, основанные на фундаментальных физических процессах, детальное знание которых и определяет во многом развитие электронной отрасли промышленности. Разработка и освоение в производстве новых технологий является необходимым условием научно-технического прогресса в области микроэлектроники. С учетом этих обстоятельств, глубокое понимание физической сущности явлений наряду с математическим описанием соответствующих процессов, протекающих в полупроводниковых материалах и структурах, является необходимым условием успешной профессиональной деятельности специалистов, имеющих квалификацию «Математик. Конструктор программно-аппаратных систем», работающих в области полупроводниковой микроэлектроники.

Учебная дисциплина «Физические основы электроники» относится к **модулю** «Математическая электроника» компонента учреждения высшего образования. В ней рассмотрены основы физики полупроводников и полупроводниковых приборов, на базе которых раскрываются принципы, определяющие развитие современного полупроводникового материаловедения, техники и технологий, применяемых в твердотельной микроэлектронике, как наиболее наукоемкой отрасли производства. Излагаются основные понятия физики полупро-

водников, позволяющие анализировать сущность физических процессов, протекающих как в объеме, так и на поверхности полупроводниковых материалов. Подробно рассмотрены основные эффекты, проявляющиеся на границах кристаллов, а также в р-п-переходах и в структурах на их основе. Проанализированы принципы работы дискретных полупроводниковых приборов, включая диоды, биполярные и полевые транзисторы.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации: дисциплина основана на базовых знаниях и представлениях, заложенных при изучении дисциплины «Физика». Учебная дисциплина «Физические основы электроники» является базовой для изучения дисциплины «Технология электроники».

В курсе применяются активные методы обучения. Основу составляют технологии проблемного и контекстного обучения, предполагающие наряду с привлечением студентов к объективным противоречиям научного знания и способам их решения также и последовательное моделирование условий профессиональной деятельности специалистов.

Требования к компетенциям.

Освоение учебной дисциплины «Физические основы электроники» должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции**:
СК – 8. Примерять при проектировании аппаратно-программных систем знания об их электрических и схемотехнических особенностях функционирования.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основы зонной теории полупроводников и явлений переноса;
- физику явлений, протекающих в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов;
- электрофизические и рекомбинационные свойства полупроводников;
- физику процессов, протекающих на границе раздела кристалл-вакуум/воздух, в р-п-переходе;
- основы работы полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов.

уметь:

- анализировать достоинства и недостатки основных современных полупроводниковых материалов (кремний, германий, арсенид галлия) и дискретных структур на их основе;
- ориентироваться в основных тенденциях и особенностях современного развития технологии, физики и техники полупроводников.

владеть:

- основами физики полупроводников и полупроводниковых приборов;
- базовыми принципами расчета основных параметров р-п-перехода;

- базовыми принципами моделирования процессов переноса в полупроводниках и в p-n-переходе.

Структура учебной дисциплины.

Дисциплина изучается во 2 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Физические основы электроники» отведено:

-- для очной формы получения высшего образования– 102 часа, в том числе 68 аудиторных часа, из них: лекции – 58 часов; практические занятия – 6 часов; управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел I. Введение. Основные современные тенденции развития микро-, нано- и оптоэлектроники в контексте развития физики и техники полупроводников.

Тема 1.1. Исторические аспекты развития и основные модели твердотельной электроники. Западная модель. Китайская модель. Постсоветская (российская) модель. Перспективы развития микро- и наноэлектроники в Республике Беларусь.

Раздел II. Физика полупроводников.

Тема 2.1. Основы строения кристаллов. Кристаллическое состояние вещества. Ковалентная связь. Структура типа алмаза. Ионная связь. Металлическая связь.

Тема 2.2. Основы электронной теории кристаллов. Электронный газ. Механизмы образования электронов проводимости в металлах и полупроводниках. Тепловое движение. Энергия ионизации атома.

Тема 2.3. Основы зонной теории полупроводников. Принцип запрета Паули. Спин электрона. Понятие энергетической зоны. Физическое обоснование возникновения энергетических зон. Энергетические диаграммы для металла, изолятора и полупроводника. Понятие запрещенной зоны. Условия возникновения электропроводности в металлах и полупроводниках.

Тема 2.4. Собственные полупроводники. Понятие дырки и дырочной проводимости. Термическая генерация и рекомбинация носителей заряда в собственном полупроводнике.

Тема 2.5. Примесные полупроводники. Поведение донорных примесей в полупроводнике. Примесное истощение. Поведение акцепторных примесей в полупроводнике. Энергетические диаграммы собственного и примесных (n- и p-типа) полупроводников. Наклон энергетических зон в слабом электрическом поле. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике.

Тема 2.6. Неравновесные процессы в полупроводниках. Рекомбинация неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Основные механизмы рекомбинации. Время жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Диффузионная длина носителей заряда. Модель линейной рекомбинации носителей заряда.

Тема 2.7. Процессы переноса носителей заряда в полупроводниках. Дрейф носителей заряда в полупроводниках. Диффузия носителей заряда в полупроводниках. Уравнение токов.

Раздел III. Физика полупроводниковых приборов и структур.

Тема 3.1. Энергетические барьеры и механизмы их образования. Работа выхода. Двойной заряженный слой. Работа выхода в металлах, диэлектриках и полупроводниках. Поверхностные состояния (уровни Тамма). Изгибы энергетических зон, связанные с присутствием поверхностных состояний. Поверхностный потенциал.

Тема 3.2. Основные параметры энергетических барьеров в полупроводниках. Проникновение внешнего электрического поля в металл, диэлектрик и полупроводник. Распределение поля в барьере. Высота и ширина энергетического барьера.

Тема 3.3. р-n-переход и его свойства. Потенциальный барьер на границе р-n-перехода. Высота барьера р-n-перехода. Распределение электрического поля барьера р-n-перехода. Ширина барьера р-n-перехода. обедненный слой. Равновесие в р-n-переходе. Компенсация тока насыщения в р-n-переходе. Обратносмещенный р-n-переход и его свойства. Обратный ток. Вольтамперные характеристики диодов (кремний, германий, арсенид галлия). Генерационный ток в р-n-переходе. Прямосмещенный р-n-переход и его свойства. Прямой ток. Инжекция.

Тема 3.4. Биполярный транзистор. Принцип работы и устройство биполярного транзистора. Основные параметры биполярного транзистора. Коэффициент усиления по току. Коэффициент переноса. Быстродействие.

Тема 3.5. Полевой транзистор. Основная идея создания полевого транзистора (идея Лилиенфельда). Полевой транзистор и практическая реализация идеи Шокли. Полевой транзистор с р-n-переходом. МДП (МОП) транзисторы. Транзисторы со встроенным и индуцированным каналами. Основные параметры, достоинства и недостатки полевых транзисторов.

Тема 3.6. Полупроводниковые датчики. Датчики температуры: терморезисторы, диоды и транзисторы. Тензодатчики. Пьезоэффект в полупроводниках. Тензорезисторы. р-n-переход как тензодатчик. Датчики магнитного поля на основе эффекта Холла. Магниторезисторы. Магнитодиоды. Биполярные магнитотранзисторы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением электронных средств обучения (ДО)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Аудиторный контроль УСП		
I	Введение. Основные современные тенденции развития микро,- нано- и оптоэлектроники в контексте развития физики и техники полупроводников.	4						
1.1	<i>Исторические аспекты развития и основные модели твердотельной электроники.</i>							
1.1.1	Западноевропейская модель. Китайская модель. Российская (постсоветская модель).	2					[3,4,5,6,8]	
1.1.2	Перспективы развития микро- и наноэлектроники в республике Беларусь.	2					[3,4,5,6,8]	
II	Физика полупроводников.	30	4			2		
2.1	<i>Основы строения кристаллов.</i>							
2.1.1	Кристаллическое состояние вещества. Ковалентная связь. Структура типа алмаза. Ионная связь. Металлическая связь.	2					[2,3,4,5]	Опрос.

2.2	<i>Основы электронной теории кристаллов.</i>							
2.2.1	Электронный газ. Механизмы образования электронов проводимости в металлах и полупроводниках.	2					[1,3,5]	Опрос
2.2.2	Тепловое движение. Энергия ионизации атома.	2					[1,3,5]	Опрос
2.3	<i>Основы зонной теории полупроводников.</i>							
2.3.1	Принцип запрета Паули. Спин электрона.	2					[1,2,3,5]	Опрос.
2.3.2	Понятие энергетической зоны. Физическое обоснование возникновения энергетических зон.	2	2				[1,2,3,5]	Опрос
2.3.3	Энергетические диаграммы металла, изолятора и полупроводника. Понятие запрещенной зоны. Условия возникновения электропроводности в полупроводниках.	2					[1,2,3,5]	Опрос
2.4	<i>Собственные полупроводники.</i>							
2.4.1	Понятие дырки и дырочной проводимости. Термическая генерация и рекомбинация носителей заряда в собственном полупроводнике.	2					[1,2,3,5]	Опрос.
2.5	<i>Примесные полупроводники.</i>							
2.5.1	Поведение донорных примесей в полупроводниках.	2					[1,2,3,5]	Опрос
2.5.2	Поведение акцепторных примесей в полупроводниках.	2					[1,2,3,5]	Опрос
2.5.3	Энергетические диаграммы собственного и примесных полупроводников.	1	1				[2,6]	Опрос
2.5.4	Наклон энергетических зон в слабом электрическом поле.		1				[2,6]	Опрос.

2.5.5	Примесное истощение. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках.	1					[2,5,7]	Опрос
2.6	<i>Неравновесные процессы в полупроводниках.</i>							
2.6.1	Рекомбинация неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Основные механизмы рекомбинации.	2					[1,4,5]	Опрос
2.6.2	Основные параметры процесса рекомбинации. Время жизни неравновесных носителей заряда. Диффузионная длина носителей заряда. Модель линейной рекомбинации носителей заряда.	2					[1,4,5]	Опрос
2.7	<i>Процессы переноса носителей заряда в полупроводниках.</i>							Опрос
2.7.1	Дрейф носителей заряда в полупроводниках.	2					[1,2,4,5]	Опрос.
2.7.2	Диффузия носителей заряда в полупроводниках.	2					[1,2,4,5]	Опрос.
2.7.3	Уравнение токов.	2					[7]	Опрос.
	Текущий контроль по разделу II					2		Письменное тестирование.
III	Физика полупроводниковых приборов и структур.	24	2					
3.1	<i>Энергетические барьеры и механизмы их образования.</i>							
3.1.1	Работа выхода. Двойной заряженный слой. Работа выхода в металлах, диэлектриках и полупроводниках.	2					[5,7]	Опрос.
3.1.2	Поверхностные состояния (уровни Тамма). Изгибы энергетических зон, связанные с присутствием поверхностных состояний. Поверхностный	1					[5,7]	Опрос

	потенциал.							
3.2	Основные параметры энергетических барьеров.	1	1				[5,7]	Опрос
3.2.1	Проникновение внешнего электрического поля в металл, диэлектрик и полупроводник. Уравнение Пуассона.	2					[2,5,7]	Опрос
3.2.2	Распределение поля в барьере. Ширина и высота энергетического барьера.	1	1				[2,5,7]	Опрос
3.3	<i>p-n-переход и его свойства.</i>							
3.3.1	Потенциальный барьер на границе p-n-перехода.	1					[2,5,7]	Опрос
3.3.2	Высота барьера p-n-перехода. Распределение электрического поля барьера p-n-перехода. Ширина барьера. Обедненный слой.	1					[2,5,7]	Опрос
3.3.3	Равновесие в p-n-переходе.	1					[2,5,7]	Опрос
3.3.4	Компенсация тока насыщения в p-n-переходе.	1					[2,5,7]	
3.3.5	Обратносмещенный p-n-переход и его свойства.	2					[2,5,7]	Опрос.
3.3.6	Обратный ток. Вольт-амперные характеристики диодов (Ge, Si, GaAs).	1					[2,5,7]	Опрос
3.3.7	Генерационный ток.	1					[2,5,7]	Опрос
3.3.8	Прямосмещенный p-n-переход и его свойства.	2					[2,5,7]	Опрос
3.4	<i>Биполярный транзистор.</i>							
3.4.1	Принцип работы и устройство биполярного транзистора.	1					[2,5,7]	Опрос
3.4.2	Основные параметры биполярного транзистора. Коэффициент усиления по току. Коэффициент переноса. Быстродействие.	1					[2,5,7]	Опрос
3.5	<i>Полевой транзистор.</i>							

3.5.1	Основная идея создания полевого транзистора (идея Лилиенфельда). Полевой транзистор и практическая реализация идеи Шокли. Полевой транзистор с р-п-переходом.	1					[2,5,7]	Опрос
3.5.2	МДП (МОП) полевые транзисторы. Транзисторы со встроенным и индуцированным каналами.	1					[2,5,7]	Опрос
3.5.3	Основные параметры, достоинства и недостатки полевых транзисторов.						[2,5,7]	Опрос
3.6	<i>Полупроводниковые датчики.</i>	3						
3.6.1	Датчики температуры: терморезисторы; диоды и транзисторы.	1					[2,5,7]	Опрос. Дискуссии
3.6.2	Тензодатчики. Пьезоэффект в полупроводниках. Тензорезисторы. р-п-переход как тензодатчик.	1					[2,5,7]	Опрос. Дискуссии.
3.6.3	Датчики магнитного поля на основе эффекта Холла. Магниторезисторы. Магнитодиоды. Биполярные магнитотранзисторы.	1					[2,5,7]	Опрос. Дискуссии.
	Текущий контроль по разделу III					2		Письменное тестирование.

Разрыв страницы

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

- Смирнов Ю.А. Физические основы электроники. / Смирнов Ю.А., Титов Е.В., Соколов С. В. – С.-П.: «Лань», 2021. – 560 с.
- Блейкмор Дж. Физика твердого состояния. / Блейкмор Дж. – М.: «Металлургия», 1972. – 486 с.
- Соминский М.С. Полупроводники. / Соминский М.С. – М.: «Физматгиз», 1961, -- 417 с.
- Пасынков В.П. Материалы электронной техники. / Пасынков В.П., Сорокин В.С.– С.-П.: «Лань», 2001. – 360 с.
- Левинштейн М.Е. Барьеры. / Левинштейн М.Е., Симин Г.С. – М.: «Наука», 1987. – 320 с.
- Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов. / Викулин И.М., Стафеев В.И. – М.: «Советское радио», 1980. – 297 с.
- Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. / Пасынков В.В., Чиркин Л.К. – С.-П.: «Лань», 2001. – 362 с.
- Пилипенко В.А. Инновационные технологии и оборудование микроэлектроники. / В.А. Пилипенко, А.П. Достанко. С.М. Аваков, В.И. Плебанович, С.Н. Мельников, Д.А. Голосов, С.М. Завадский, Е.В. Телеш, в.А. Солодуха, И.Б. Петухов, И.Б. Ковальчук, С.Б. Школык, В.Л. Ланин, А.И. Лаппо, А.Н. Петлицкий. – Минск: «Беларусская наука», 2020. – 368 с.
- Щука А.А. Нанoeлектроника. / Щука А.А. – М.: Физматкнига, 2007, – 464 с.

Перечень дополнительной литературы

- Шалимова К.В. Физика полупроводников. / Шалимова К.В. -- М.: «Энергия», 1976. – 392 с
- Гриднев С.А. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах / С.А. Гриднев, Ю.Е. Калинин, А.В. Ситников, О.В. Стогней .— 3-е изд. (эл.) — Москва : Лаборатория знаний, 2020 .— 355 с.
- Оджаев В.Б. Тенденции в развитии электроники и электронной промышленности: курс лекций. / Оджаев В.Б., Просолович В.С., Сидоренко Ю.В., Челябинский А.Р. – Мн.: БГУ, 2010. – 264 с.
- Епифанов Г.И. Физические основы микроэлектроники. / Епифанов Г.И. М.: «Энергия», 1969. – 518 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для оценки результатов учебной деятельности обучающихся рекомендуется использовать следующие средства диагностики: письменный тест, устные опросы, дискуссия.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Тестирование проводится в письменной форме. Каждый из письменных тестов включает в себя 5 – 10 заданий в письменной форме. На выполнение теста отводится 80 минут. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Каждое задание оценивается в 1 балл (если ответ верен и точен); 0,5 балла (если в ответе содержатся неточности, но в целом он верен, или же в ответе присутствуют почти завершенные рассуждения, которые при их продолжении могли бы привести к верному ответу); 0 баллов (если ответ неверен или отсутствует). Оценка каждого из тестов проводится по 10-балльной шкале в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1. Критерии оценки теста.

Оценка	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Процент от максимально возможной суммы баллов	≥95	≥ 90 но <9	≥ 85 но <9	≥ 80 но <8	≥ 70 но <8	≥ 60 но <7	≥ 50%, но <60	≥ 30 но <5	≥ 10 но <	<10

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое из письменных тестирований и оценки, полученной за ответы на лекциях и практических занятиях. Весовые коэффициенты для определения оценки текущей успеваемости:

- ответы на лекциях и практических занятиях – 30%;
- выполнение теста – 70%.

Формой текущей аттестации по учебной дисциплине «Физические основы электроники» учебным планом предусмотрен экзамен.

Итоговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 30%; экзаменационной оценки – 70%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В качестве заданий для управляемой самостоятельной работы студенты выполняют два письменных теста.

Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий.

Раздел II. Физика полупроводников. Темы 2.1 – 2.7.

1. К каким последствиям приводит реализация в полупроводниках принципа запрета Паули?
2. В чем заключаются различия в энергетической диаграмме электронов для металлов и полупроводников?
3. Каковы механизмы генерации и рекомбинации носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках?
4. Каковы причины примесного истощения в полупроводниках и к каким последствиям приводит это явление?
5. Изобразите трансформацию зонной диаграммы полупроводника при его помещении в магнитное поле.
6. Изобразите температурную зависимость концентрации носителей заряда в полупроводнике на примере материала n-типа проводимости.
7. Дайте определение основных рекомбинационных параметров (время жизни неравновесных носителей заряда и их диффузионная длина). И поясните их физический смысл на примере линейной модели рекомбинации.
8. Опишите процессы термической генерации и рекомбинация носителей заряда в собственном полупроводнике.
9. Диффузия и дрейф носителей заряда в полупроводнике: общие свойства и отличительные особенности.
10. Представьте физическое обоснование образования энергетических зон для носителей заряда в кристаллах.

Форма контроля – письменный тест.

Раздел III. Физика полупроводниковых приборов и структур.

Темы 3.1 -- 3.5.

1. Каковы физические механизмы проникновения электрического поля в металл, диэлектрик и полупроводник.
2. Что обуславливает появление на границе p- и n-областей полупроводника энергетического потенциального барьера? Опишите механизм его образования.
3. Какие факторы влияют на высоту и ширину p-n- перехода, а также на распределение в нем электрического поля?
4. Опишите основные свойства обратносмещенного p-n-перехода.

5. В чем заключаются причины возникновения в p-n-переходе обратного и генерационного токов?
6. Проведите сравнительный анализ ВАХ p-n-переходов, изготовленных из Ge, Si и GaAs.
7. Опишите основные свойства прямосмещенного p-n-перехода.
8. Условия возникновения в прямосмещенном p-n-переходе инжекции
9. носителей заряда.
10. Условия лавинного пробоя p-n-перехода.
11. Уровни Гамма и поверхностный потенциал.
12. Принцип работы биполярного транзистора.
13. Основная идея создания полевого транзистора (идея Лилиенталя).
14. Полевой транзистор (структура Шокли).
15. МДП полевой транзистор.
16. Транзистор со встроенным каналом.
17. Транзистор с индуцированным каналом.

Форма контроля – письменный тест.

Примерная тематика практических занятий Раздел II. Физика полупроводников.

1. Обоснование возникновения энергетических зон.
2. Энергетические диаграммы собственного и примесного полупроводников.
3. Наклон энергетических зон в слабом электрическом поле.

Раздел III. Физика полупроводниковых приборов и структур.

1. Основные параметры энергетических барьеров.
2. Распределение поля в барьере. Ширина и высота энергетического барьера.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса используются **методы и приёмы развития критического мышления**, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией, понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления, углубления и расширения полученных теоретических знаний обучающихся;
- формирования умений использовать специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся творческой инициативы, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации, самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации.

Аудиторная самостоятельная работа по учебной дисциплине на учебных занятиях выполняется под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя без его непосредственного участия. При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией.

Основным видом аудиторной самостоятельной работы при изучении учебной дисциплины являются подготовка ответов на тесты, решение качественных задач, предложенных в ходе занятия, участие в дискуссиях во время лекций и практических занятий

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине будет использоваться информационный ресурс vk.com/kafedrafizikip для размещения электронного конспекта лекций, комплекса учебных и учебно-методических программных материалов с целью теоретического изучения дисциплины, а также материалы текущего контроля и текущей аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации, в т. ч. вопросы для подготовки к экзамену, тесты, список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Ковалентная связь в кристаллах. Кристаллическая решетка типа алмаза.
2. Ионная и металлическая химические связи в кристаллах.

3. Влияние внешнего электрического поля на движение носителей заряда в металлах. Длина свободного пробега и подвижность носителей заряда.
4. Механизмы генерации электронов проводимости в полупроводниках. Тепловое движение. Энергия ионизации атома.
5. Собственная электропроводность полупроводников. Понятие дырки.
6. Генерация и рекомбинация электронов и дырок в собственном полупроводнике. Собственная электропроводность.
7. Донорные и акцепторные примеси в полупроводниках. Примесная электропроводность.
8. Спин электрона. Принцип запрета Паули.
9. Понятие энергетической зоны. Основные причины и физические аспекты их образования.
10. Физический смысл понятия «запрещенная энергетическая зона полупроводника». Факторы, определяющие величину ширины запрещенной зоны в металле, полупроводнике и диэлектрике.
11. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводнике.
12. Основные механизмы рекомбинации носителей заряда в полупроводниках. Случай линейной рекомбинации.
13. Время жизни и длина свободного пробега носителей заряда в полупроводнике. Физический смысл диффузионной длины носителей заряда в полупроводниках.
14. Дрейф носителей заряда в полупроводниках под действием электрического поля.
15. Диффузия носителей заряда в полупроводниках. Физический смысл коэффициента диффузии.
16. Механизмы проникновения внешнего электрического поля в металл, диэлектрик и полупроводник.
17. Механизмы формирования потенциального барьера на границе кристалл – вакуум. Работа выхода.
18. Физический смысл параметра работа выхода электрона из кристалла. Работа выхода электрона из металла, диэлектрика и полупроводника.
19. Двойной заряженный слой и механизмы его формирования в приповерхностной области. Работа выхода электрона из полупроводников р- и n-типа проводимости. Электронное сродство полупроводника.
20. Уровни Тамма. Влияние поверхностных состояний на величину работы выхода в полупроводниках.
21. Образование потенциального барьера на границе р-n-перехода.
22. Двойной заряженный слой в р-n-переходе.
23. Высота потенциального барьера р-n-перехода.
24. Распределение электрического поля в барьере р-n-перехода. Ширина потенциального барьера р-n-перехода.
25. Установление равновесия в р-n-переходе.
26. Ток насыщения в р-n-переходе.

27. Основные свойства, энергетическая диаграмма и параметры (высота, ширина) обратносмещенного р-п-перехода.
28. Распределение электрического поля в обратносмещенном р-п-переходе.
29. Вольт-амперные характеристики германиевого диода.
30. Обратный ток в обратносмещенном р-п-переходе. Вольт-амперные характеристики диодов, изготовленных на основе кремния и арсенида галлия.
31. Барьерная емкость р-п-перехода.
32. Ударная ионизация и условия ее возникновения. Коэффициент умножения носителей. Коэффициент ударной ионизации.
33. Основные свойства, энергетическая диаграмма и параметры (высота, ширина, распределение электрического поля) обратносмещенного р-п-перехода.
34. Вольт-амперные характеристики прямосмещенного диода.
35. Явление инжекции в прямосмещенном р-п-переходе.
36. Принципы работы биполярного транзистора.
37. Основные параметры биполярного транзистора.
38. Идея Ю. Лилиенфельда для создания полевого транзистора и роль поверхностных состояний в ее практической реализации.
39. Полевой транзистор с р-п-переходом.
40. МДП (МОП) полевой транзистор. Основные параметры полевых транзисторов.
41. Полевой транзистор со встроенным каналом.
42. Полевой транзистор с индуцированным каналом.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Технология электроники	Кафедра математической кибернетики	Нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 4 от 30.11.2021)

