МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

«СОГЛАСОВАНО»

Директор института
магистратуры и аспирантуры
_____ А.В. Корячко
«27» 04 2018 г.

Руководитель ОПОП
_____ Т.А.Холомина
«27» 04 2018 г.

« УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
_____ К.В. Бухенский
«27» 04 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.03 «ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ»

Направление подготовки – 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

ОПОП академической магистратуры «Нанотехнологии в электронике»

Квалификация (степень) выпускника – магистр
Формы обучения – очная, очно-заочная

Рязань 2018

26.04.18

1 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа по дисциплине «Электронные процессы в твердом теле» (Б1.В.03) является составной частью основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) академической магистратуры, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень магистратуры), утвержденным приказом Минобрнауки России от 30.10.2014 № 1407.

Целью освоения дисциплины является формирование у магистрантов перечисленных ниже компетенций и систематических знаний в области фундаментальных принципов, определяющих особенности электронных процессов и явлений в твердых телах, как научной основы осознанного и целенаправленного использования, в первую очередь – полупроводников, для проектирования и создания элементов, приборов и устройств твердотельной электроники и наноэлектроники. – «Нанотехнологии в электронике»

В задачи дисциплины входит:

1) изучение электронных процессов, фундаментальных основ физики твердого тела и способов их практического использования;

2) расширение научного кругозора и эрудиции магистрантов, овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями физики твердого тела с четким определением границ, в пределах которых справедливы те или иные физические концепции, модели, теории;

3) выработка навыков грамотного изложения научного, экспериментального и теоретического материала в виде докладов, презентаций, научных публикаций; умения объяснить явления, обусловленные электронными процессами в твердых телах;

4) закрепление навыков самостоятельной учебной деятельности;

5) получение навыков научно-исследовательской и методической работы;

6) применение приобретенных теоретических и практических знаний для решения конкретных задач при прохождении учебных практик и спецпрактикумов, при выполнении курсовых и выпускных работ, а также в дальнейшей профессиональной деятельности.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Коды компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-1	Способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения	Знать: особенности современного этапа развития науки, современные проблемы в области изучения электронных процессов в твердом теле. Уметь: анализировать необходимую информацию и выделять дискуссионные разделы науки. Владеть: основными методологическими приемами современной науки с целью выбора методов и средств разрешения дискуссионных вопросов в области электронных процессов в твердом теле.

ПК-1	Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	Знать: инновационные и вариативные концепции, модели и пути развития научных исследований в области изучения электронных процессов в твердом теле в соответствии с перспективами развития электроники, наноэлектроники и нанотехнологий. Уметь: формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач. Владеть: аналитической информацией в области перспектив и тенденций развития научных основ изучения электронных процессов в твердом теле.
ПК-4	Способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	Знать: методологию научных исследований, этапы проведения научно-исследовательских работ; инновационные и вариативные концепции, модели, технологии и приемы организации и проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов обработки и представления экспериментальных данных. Уметь: применять на практике основные приемы проведения экспериментальных исследований, современные программные средства обработки и представления данных, анализировать результаты расчетов и обосновывать полученные выводы. Владеть: навыками выбора эмпирических и теоретических методов решения конкретной научной проблемы; методами организации и проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов обработки и представления экспериментальных данных, анализа результатов.
ПК-6	Способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	Знать: основные методы, обеспечивающие возможность анализа состояния научно-технической проблемы в области электроники, наноэлектроники и нанотехнологий, путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников. Уметь: применять на практике основные методы подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников по конкретной научной проблеме в области электроники, наноэлектроники и нанотехнологий. Владеть: навыками совершенствования своего научного потенциала путем анализа, структурирования и обобщения инновационных идей и концепций в области электронных процессов в твердом теле применительно к проблемам развития электроники, наноэлектроники и нанотехнологий.

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Электронные процессы в твердом теле» (Б1.В.03) является обязательной, относится к вариативной части блока №1 и изучается магистрантами всех основных профессиональных образовательных программ академической магистратуры по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника».

Дисциплина изучается магистрантами по очной и очно-заочной формам обучения на 1-м курсе, во 2-м семестре.

Пререквизиты дисциплины. Дисциплина «Электронные процессы в твердом теле» (Б1.В.03) базируется на следующих дисциплинах учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», ОПОП «Нанотехнологии в электронике»: «Физика конденсированного состояния» (Б1.3.В.01), «Материалы электронной техники» (Б1.3.В.05) «Физика наносистем» (Б1.3.В.14), «Актуальные проблемы твердотельной электроники» (Б1.3.В.06а) и др.

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

знать:

базовые концепции и модели квантовой и статистической физики, основные свойства и законы движения микрочастиц, основы зонной теории твердых тел.

уметь:

применять на практике основные приемы и программные средства обработки и представления данных в соответствии с задачей исследования электронных процессов в твердом теле и элементах твердотельной электроники;

владеть:

навыками расчета и анализа параметров и характеристик материалов электроники и наноэлектроники.

Взаимосвязь с другими дисциплинами. Требования к входным знаниям совпадают с требованиями к освоению перечисленных выше предшествующих дисциплин ОПОП подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», ОПОП «Нанотехнологии в электронике. Дисциплина ««Нанотехнологии и биосистемы» (Б1.В.07а) содержательно и методологически взаимосвязана с указанными дисциплинами.

Постреквизиты дисциплины. Дисциплина «Электронные процессы в твердом теле» (Б1.В.03) является основой для дальнейшего изучения дисциплин «Элементная база наноэлектроники» (Б1.В.01), «Процессы микро- и нанотехнологии» (Б1.В.04), «Фундаментальные основы физики наносистем и нанотехнологий» (Б1.В.05) НИР, «Преддипломная практика», «Выпускная квалификационная работа».

3 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Трудоемкость дисциплины – 4 зачетные единицы (ЗЕ), 144 час.

Вид учебной работы	**Всего часов**	
	Очная форма обучения	**Очно-заочная форма обучения**
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе	**144**	**144**
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в **том числе**:	48	48
Лекции	24	24
Практические занятия	24	24
Самостоятельная работа (всего)), в том числе:	**96**	**96**

Экзамены и консультации	36	36
Консультации в семестре	6	6
Самостоятельные занятия	54	54
Вид промежуточной аттестации	**экзамен**	**экзамен**

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Разделы дисциплины, виды занятий и трудоемкость

Очная форма обучения

№ п/п	Основные разделы дисциплины	Общая трудоемкость, всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем		Самостоятельная работа обучающихся
			Лекции	Практические занятия	
1	*Введение Предмет дисциплины и ее задачи*	1	1		
2	*Основы электронной теории твердых тел*	36	6	6	24
3	*Электронные процессы во внешнем электрическом поле*	34	8	10	16
4	*Кинетические явления в твердом теле*	19	6	6	7
5	*Неравновесные процессы переноса носителей заряда в твердом теле*	11	2	2	7
6	*Заключение*	1	1		
	Консультации и экзамен	42			42
Итого		144	24	24	96

Очно-заочная форма обучения

№ п/п	Основные разделы дисциплины	Общая трудоемкость, всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем		Самостоятельная работа обучающихся
			Лекции	Практические занятия	
1	*Введение Предмет дисциплины и ее задачи*	1	1		
2	*Основы электронной теории твердых тел*	36	6	6	24
3	*Электронные процессы во внешнем электрическом поле*	34	8	10	16
4	*Кинетические явления в твердом теле*	19	6	6	7
5	*Неравновесные процессы переноса носителей заряда в твердом теле*	11	2	2	7
6	*Заключение*	1	1		

	Консультации и экзамен	42			42
Итого		144	24	24	96

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2.1 Введение. Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития электронной теории твердого тела. Связь дисциплины с другими разделами физики и другими дисциплинами специальности.

4.2.2 Основы электронной теории твердых тел. Классические представления Друде-Лоренца и квантовые Зоммерфельда. Представления о квазичастицах - основной подход к описанию конденсированного состояния вещества. Статистические свойства электронов. Закон дисперсии для свободных электронов. Плотность разрешенных электронных состояний.

Основные характеристики электрона в периодическом поле решетки. Квазиимульс. Эффективная масса. Скорость и ускорение электрона в периодическом поле решетки кристалла. Периодичность энергии электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна для плоской квадратной решетки.

Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории.
Основные теоретические методы расчета и экспериментальные методы определения зонной структуры кристаллических твердых тел. Способы управления параметрами зонной структуры твердых тел.

Локализованные электронные состояния в кристалле. Мелкие и глубокие примесные состояния в кристалле. Примесная зона. Уровни Тамма и поверхностные состояния в реальных кристаллах.

Переходы металл-изолятор. Переходы Андерсона и Мотта. Модели структурного беспорядка Андерсона и Лифшица. Минимальная электрическая проводимость в переходе Мотта.

Используемая литература: основная [1-4], дополнительная [1, 2].

4.2.3 Электронные процессы во внешнем электрическом поле. Полупроводниковые кристаллы в электрическом поле. Основные механизмы переноса зарядов в полупроводниках. Диффузионный, прыжковый, баллистический, туннельный. Дырка и ее основные характеристики.

Прыжковый механизм переноса заряда. Прыжки на ближайшие локальные центры. Прыжки с переменной длиной прыжка. Законы Мотта и Шкловского-Эфроса. Представление о кулоновской щели в плотности состояний.

Явления в сильных электрических полях. Понятие сильного поля. Эффект Френкеля-Пула, туннельный эффект Зинера, лавинное умножение носителей заряда. Ударная ионизация в собственных и легированных полупроводниках.
Зависимость скорости дрейфа носителей заряда и подвижности от напряженности электрического поля. Разогрев электронов в электрическом поле. Понятие об электронной температуре. Времена релаксации импульса и энергии. Зависимость кинетических коэффициентов от электрического поля. Нелинейные ВАХ полупроводниковых кристаллов в сильном электрическом поле. *S* и *N*- образные ВАХ. Эффект Ганна, возникновение СВЧ колебаний электрического тока в полупроводниках со сложным строением зон в ***k***-пространстве. Электрические домены и токовые шнуры.

Функция распределения в сильном электрическом поле. Влияние электрон-электронных столкновений на функцию распределения. Смещенное максвелловское распределение.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1].

4.2.4 Кинетические явления в твердом теле. Рассеяние носителей заряда в металлах и полупроводниках. Подвижность свободных носителей заряда. Основные

механизмы рассеяния. Рассеяние на колебаниях кристаллической решетки. Рассеяние на ионизированных и нейтральных примесях.

Упругие волны, смешения атомов в струне, линейной цепочке и структуре с базисом. Колебательные моды одноатомной решетки. Волновой вектор, фазовая и групповая скорости. Закон дисперсии. Температура Дебая.

Колебательный спектр решетки с базисом. Оптические и акустические колебания. Закон дисперсии. Графическая иллюстрация упругих волн кристаллической решетки.

Статистика фононов. Теплоемкость кристаллической решетки. Закон Дюлонга-Пти. Модели Эйнштейна и Дебая –Борна зависимости молярной теплоемкости кристалла от температуры. Ангармонизм колебаний. Теплопроводность электронная и решеточная.

Термоэлектрические явления в твердых телах: эффекты Зеебека, Пельтье, Томсона. Природа термо-э.д.с. Вывод формул Писаренко. Применение термоэлектрических явлений.

Эффекты Холла, магниторезистивный, Эттингаузена и Нернста.

Кинетические явления в квантующих магнитных полях.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1, 2].

4.2.5 Неравновесные процессы переноса носителей в твердом теле. Кинетическое уравнение Больцмана. Диффузионно-дрейфовые уравнения. Уравнение Эйнштейна. Параметры релаксации во времени и пространстве основных и неосновных неравновесных носителей заряда. Уравнение непрерывности. Механизмы рекомбинации. Квазиуровни Ферми.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1, 2].

4.2.6 Заключение. Роль свободных и внутренних поверхностей. Квантовые эффекты. Зондовые нанотехнологии. Интеллектуальные материалы. Перспективы и тенденции разработки современных технологий и материалов.

4.3 Перечень практических занятий

Очная форма обучения

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий	Трудоемкость,час
1	4.2.2	Зонная структура твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок	2
2	4.2.2	Расчет вероятностей заполнения уровней. Водородоподобная модель мелкого примесного центра.	4
3	4.2.3	Расчет температурной зависимости электропроводностии положения уровня Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Критерий вырождения	6
4	4.2.4	Расчет удельной теплоемкости твердых тел. Расчет термо–э.д.с.	4
5	4.2.4	Расчет э.д.с. Холла, холловской подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках	6
6	4.2.5	Расчет параметров релаксации во времени и пространстве основных и неосновных неравновесных носителей заряда.	2
		Итого	24

Очно-заочная форма обучения

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий	Трудоемкость,час
1	4.2.2	Зонная структура твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок	2

2	4.2.2	Расчет вероятностей заполнения уровней. Водородоподобная модель мелкого примесного центра.	4
3	4.2.3	Расчет температурной зависимости электропроводности положения уровня Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Критерий вырождения	6
4	4.2.4	Расчет удельной теплоемкости твердых тел. Расчет термо–э.д.с.	4
5	4.2.4	Расчет э.д.с. Холла, холловской подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках	6
6	4.2.5	Расчет параметров релаксации во времени и пространстве основных и неосновных неравновесных носителей заряда.	2
Итого			24

4.4. Перечень учебно-методического обеспечения практических занятий

1. Электронные процессы в твердом теле: учеб. пособие/ Т.А. Холомина; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. - Рязань, 2017. - 68 с. [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.А.Холомина. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа: https://disk.rsreu.ru (доступ по паролю).

2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2023.

3.Физика твердого тела [Электронный ресурс] : сборник задач / И.М. Анфимов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2011. — 70 с. — 978-5-87623-426-1. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/56591.html

4.Физика твердого тела. Методические указания к практическим занятиям. Сост. Холомина Т.А. Рязань: РГРТУ, 2006. – 40 с. [Электронный ресурс] : Методические указания к практическим занятиям / Т.А.Холомина. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа: https://disk.rsreu.ru (доступ по паролю).

5 ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Наименование тем, форма отчетности и трудоемкость самостоятельных занятий обучающихся
Очная и очно-заочная формы обучения

№ п/п	№ раздела	Наименование тем и вид самостоятельных занятий обучающихся	Форма контроля	Трудоемкость, час
1	4.2. 2	Акустические и механические свойства полупроводников и композиционных полупроводниковых структур. Подготовка к практическим занятиям	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания	12

2	4.2. 2	Динамика кристаллической решетки. Электрон-фононное взаимодействие. Подготовка к практическим занятиям	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания	12
3	4.2. 3	Многочастичные взаимодействия в полупроводниках. Подготовка к практическим занятиям	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания	8
4	4.2. 3	Мезоскопические явления в полупроводниках и композитных структурах. Подготовка к практическим занятиям	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания	8
5	4.2. 4	Электропроводность и эффект Холла в квазидвумерной электронной системе в квантующем магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла. Подготовка к практическим занятиям	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания	7
6	4.2. 5	Модели релаксации неравновесных носителей заряда в твердом теле. Подготовка к практическим занятиям	Аналитический отчет. Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания	7
Итого				54

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельных занятий

Учебные пособия, рекомендуемые для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Электронные процессы в твердом теле», содержат необходимый теоретический материал для подготовки аналитических отчетов по самостоятельной работе, другие рекомендованные пособия содержат задачи для подготовки к практическим занятиям и самостоятельного решения. Разработан комплект тестовых заданий с возможными вариантами ответов по каждому из разделов дисциплины. Результаты решения задач в форме контрольных работ и ответы на вопросы тестовых заданий контролируются преподавателем на предмет оценки формирования контролируемых компетенций (п.1).

1. Электронные процессы в твердом теле: учеб. пособие/ Т.А. Холомина; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. - Рязань, 2017. - 68 с. [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.А.Холомина. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа: https://disk.rsreu.ru (доступ по паролю).

2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2023.

3.Физика твердого тела [Электронный ресурс] : сборник задач / И.М. Анфимов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2011. — 70 с. — 978-5-87623-426-1. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/56591.html

4.Физика твердого тела. Методические указания к практическим занятиям. Сост. Холомина Т.А. Рязань: РГРТУ, 2006. – 40 с. [Электронный ресурс] : Методические указания к практическим занятиям / Т.А.Холомина. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа: https://disk.rsreu.ru (доступ по паролю).

6 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Фонд оценочных средств приведен в Приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Электронные процессы в твердом теле»)

7 ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1 Основная учебная литература:

1. Электронные процессы в твердом теле: учеб. пособие/ Т.А. Холомина; Рязан. гос. радиотехн. ун-т. - Рязань, 2017. - 68 с. [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.А.Холомина. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа: https://disk.rsreu.ru (доступ по паролю).

2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2023.

3.Физика твердого тела [Электронный ресурс] : сборник задач / И.М. Анфимов [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2011. — 70 с. — 978-5-87623-426-1. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/56591.html

4.Разумовская И.В. Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки [Электронный ресурс] / И.В. Разумовская. — Электрон. текстовые данные. — М. : Прометей, 2011. — 64 с. — 978-5-4263-0032-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/9611.html

5.Физика твердого тела. Методические указания к практическим занятиям. Сост. Холомина Т.А. Рязань: РГРТУ, 2006. – 40 с. [Электронный ресурс] : Методические указания к практическим занятиям / Т.А.Холомина. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа: https://disk.rsreu.ru (доступ по паролю).

7.2 Дополнительная учебная литература:

1. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков.– М.: Высшая школа, 1977. – 448 с.

2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М: Высш.шк. 2005.- 496 с.

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ИНТЕРНЕТ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.nano.msu.ru>/reseach/seminars/condensed;

2. http:www.lomonosov- fund/ru .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Материал каждой лекции рекомендуется изучать в день ее прочтения лектором, когда она еще не забыта. При этом необходимо использовать конспект и рекомендованную литературу. Использовать литературу необходимо для углубленного изучения материала лекции и для уточнения тех мест, которые в конспекте оказались записаны недостаточно понятно. В конспекте каждой лекции необходимо оставлять чистое место и конспектировать в нем изученную литературу, чтобы при подготовке к текущей, промежуточной или итоговой аттестации можно было повторить всю тему. Лектором в течение всего семестра проводятся консультации по лекционному материалу и самостоятельной работе.

Каждую тему, предусмотренную планом самостоятельной работы, следует изучать самостоятельно в течение отведенных для ее изучения двух недель с помощью рекомендованной литературы. Все возникающие при этом вопросы надо записывать, чтобы получить на них ответы на консультации. По каждой теме для каждой учебной группы лектор проводит консультации в конце ее изучения (один раз в две недели). Расписание консультаций вывешивается на весь семестр на доске объявлений лаборатории по дисциплине. В конце консультации проводится тест по теме, при успешном прохождении которого тема считается изученной.

К каждому практическому занятию надо готовиться с помощью конспекта лекций по теме работы, изучения рекомендованной литературы и методических рекомендаций к практическим занятиям.

Методические требования к структуре аналитического отчета по самостоятельной работе:

1) титульный лист;
2) часть I – «Аналитическая часть» - анализ раздела индивидуального задания по дисциплине, формулировка актуальности темы, цели и задач разработки или исследования объекта и предмета разработки или исследования, оценка современного состояния изучаемой проблемы;
3) часть II - « Основная часть» - результаты выполнения основной части раздела индивидуального задания по дисциплине (обзор научно-методических информационных источников - современных научных статей и монографий по теме, выявление вопросов, требующих углубленного изучения; формирование и обоснование собственной точки зрения на рассматриваемые проблемы и возможные пути их разрешения; необходимые расчеты, моделирование и другие задания, предусмотренные темой самостоятельной работы. Материал не должен иметь только компилятивный характер, но обладать новизной, практической значимостью, отражать точку зрения автора на изучаемые проблемы и результаты проделанной работы.
4) часть III – «Заключение» – заключение и выводы по результатам выполненной работы;
5) список использованных источников;
6) приложения (при необходимости).

В конце семестра при подготовке к аттестации студент должен повторить изученный в семестре материал и в ходе повторения обобщить, сформировав цельное представление о нем. Следует иметь в виду, что на подготовку к промежуточной аттестации времени бывает очень мало, поэтому начинать эту подготовку надо заранее, не дожидаясь последней недели семестра.

Следует всегда помнить, что залог успеха студента в учебе – планомерная работа в течение всего семестра и своевременное выполнение всех видов работы.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», ОПОП «Нанотехнологии в электронике» при изучении магистрантами дисциплины «Электронные процессы в твердом теле» (Б1.В.03) реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой преподавателя и студента.

Изучение дисциплины предусматривает применение активных форм проведения занятий с целью формирования и развития общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся.

При проведении самостоятельной работы обучающихся используются следующие информационные технологии:

– доступ в сеть Интернет, обеспечивающий, поиск актуальной научно-методической и научно-технической информации;

– необходимое программное обеспечение для выполнения программы дисциплины, установленное в вузе, а также для выполнения самостоятельной работы в домашних условиях;

Перечень лицензионного программного обеспечения:

1. операционная система Windows XP (корпоративная лицензия);
2. пакет Libre Office или иное свободно распространяемое программное обеспечение(лицензия LGPL).

При организации самостоятельной работы студентов используется комплекс учебных и учебно-методических материалов в сетевом доступе (программа, методические пособия, список рекомендуемых источников литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме и вопросы для самоконтроля).

Принятая технология обучения базируется на интерактивной работе в аудитории, когда в процессе лекций и практических занятий, дополняемых самостоятельной работой обучаемых, в том числе и с участием преподавателя, выполняется серия экспресс-заданий, совокупность которых позволяет практически применить полученные знания, развивая компетенции, предусмотренные для данной дисциплины.

Проведение ряда занятий осуществляется с использованием компьютеров и мультимедийных средств, наглядных пособий, а также раздаточных материалов.

После изучения отдельных разделов дисциплины осуществляется проведение рубежного контроля усвоения материала студентами в виде заданий, предусматривающих самостоятельное решение задач и ответов на тестовые задания.

Выбранные технологии эффективно поддерживают достижение магистрантами принятых для дисциплины «Электронные процессы в твердом теле» общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Для освоении дисциплины необходима следующая материально-техническая база.

1.Лекционные занятия:

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук;
- комплект электронных презентаций/слайдов.

2. Практические занятия:

- аудитория, оснащенная ПК, для проведения необходимых расчетов и тестового контроля текущей успеваемости.

Программу составила
д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой
кафедры микро- и наноэлектроники Т.А.Холомина

Рабочая программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры МНЭЛ,
протокол № 10 от 26.04.2018 г.

Зав. кафедрой микро-
и наноэлектроники,
д.ф.-м.н., профессор Т.А.Холомина

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

по дисциплине

Б1.В.03 «ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ»

Направление подготовки – 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

ОПОП академической магистратуры «Нанотехнологии в электронике»

Квалификация (степень) выпускника – магистр

Формы обучения – очная, очно-заочная

Рязань 2018

1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общепрофессиональных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретённых обучающимися на практических занятиях.

На практических занятиях допускается использование либо системы «зачтено – не зачтено», либо рейтинговой системы оценки, при которой, например, правильно решенная задача оценивается определенным количеством баллов. При поэтапном выполнении учебного плана баллы суммируются. Положительным итогом выполнения программы является определенное количество набранных баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением экзамена. Форма проведения экзамена – устный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса и одна задача. В процессе подготовки к устному ответу экзаменуемый может составить в письменном виде план ответа, включающий в себя определения, выводы формул, рисунки и т.п. Решение задачи также предоставляется в письменном виде.

В соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки магистров 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» при освоении дисциплины «Электронные процессы в твердом теле» формируются следующие компетенции: ОПК-1, ПК-1, ПК4, ПК-6.

Указанные компетенции формируются в соответствии со следующими этапами:

1) формирование и развитие теоретических знаний, предусмотренных указанными компетенциями (лекционные и практические занятия, самостоятельная работа студентов);

2) приобретение и развитие практических умений предусмотренных компетенциями практические занятия, самостоятельная работа студентов);

3) закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями, в ходе выполнения конкретных заданий на практических занятиях, ответов на контрольные и тестовые задания (текущий контроль), а также в процессе подготовки и сдачи отчетов по самостоятельной работе и экзамена (промежуточный контроль).

Паспорт оценочных материалов по дисциплине
Формы обучения – очная, очно-заочная

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или её части)	Вид, метод, форма оценочного мероприятия
1	*Введение. Предмет дисциплины и ее задачи*	ОПК-1	Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания, экзамен
2	*Основы электронной теории твердых тел*	ОПК-1, ПК-1, ПК-4, ПК-6	Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания, экзамен
3	*Электронные процессы во внешнем электрическом поле*	ОПК-1, ПК-1, ПК-4, ПК-6	Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания, экзамен
4	*Кинетические явления в твердом теле*	ОПК-1, ПК-1, ПК-4, ПК-6	Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания, экзамен
5	*Неравновесные процессы переноса носителей заряда в твердом теле*	ОПК-1, ПК-1, ПК-4, ПК-6	Результаты решения контрольных задач, ответы на тестовые задания, экзамен
6	*Заключение*	ОПК-1	Экзамен

2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Сформированность каждой компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехуровневой шкале:

1) пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;

2) продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенций по завершении освоения дисциплины;

3) эталонный уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенций и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

При достаточном качестве освоения более 80% приведенных знаний, умений и навыков преподаватель оценивает освоение данной компетенции в рамках настоящей дисциплины на эталонном уровне, при освоении более 60% приведенных знаний, умений и навыков – на продвинутом, при освоении более 40% приведенных знаний умений и навыков – на пороговом уровне. При освоении менее 40% приведенных знаний, умений и навыков компетенция в рамках настоящей дисциплины считается неосвоенной.

Уровень сформированности каждой компетенции на различных этапах ее формирования в процессе освоения данной дисциплины оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и представлено различными видами оценочных средств.

Преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в письменных заданиях по решению задач. Кроме того, преподавателем учитываются ответы студента на контрольные вопросы и тестирование при текущем контроле:

Принимается во внимание **знания** и **уровень сформированности** каждой компетенции обучающимися ОПК-1, ПК-1, ПК-4, ПК-6:

- основной терминологии физики электронного материаловедения;
- основных методов организации научно-исследовательской деятельности в сфере электроники, наноэлектроники и нанотехнологий, приемы поиска и отбора информации в области изучения явлений в твердых телах;

- особенностей современного этапа развития науки, современных проблемы в области изучения электронных процессов в твердом теле;
- основных законов классической и особенности современной научной картины мира на основе освоения дисциплин программы магистратуры ;
- основных методов и приемов самостоятельного приобретения новых знаний и умений при работе с учебной, научной и монографической литературой, публикациями в научных журналах и сети Интернет в области изучения электронных процессов в твердом теле, использования их в практической деятельности;
- инновационных и вариативных концепций, моделей и путей развития научных исследований в области изучения электронных процессов в твердом теле в соответствии с перспективами развития электроники, наноэлектроники и нанотехнологий;

наличие **умений**:

- анализировать свои возможности, переоценивать накопленный опыт, систематизировать и структурировать необходимую информацию для решения задач в области изучения электронных процессов в твердом теле);
- анализировать необходимую информацию и выделять дискуссионные разделы науки ;
- анализировать и выделять то новое, что позволяет выстраивать адекватную современному уровню знаний научную картину в области электронных процессов в твердом теле;
- применять на практике основные методы подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников по конкретной научной проблеме в области электроники, наноэлектроники и нанотехнологий;

обладание:

- способами самообразования и получения современной информации для адаптации к изменяющимся условиям при решении задач изучения электронных процессов в твердом теле);
- современными методами критического анализа научной информации; обобщения в виде научно-обоснованных выводов; методиками подготовки материалов в виде научных публикаций.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенций ОПК-1, ПК-1, ПК-4, ПК-6 в процессе выполнения контрольных и тестовых заданий, а также защиты отчетов по самостоятельной работе:

- 41%-60% правильных ответов соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования;
- 61%-80% правильных ответов соответствует продвинутому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования;
- 81%-100% правильных ответов соответствует эталонному уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования.

Сформированность уровня компетенций не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

Формой промежуточной аттестации по данной дисциплине является экзамен, оцениваемый по принятой в ФГБОУ ВО «РГРТУ» четырехбалльной системе: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично».

Критерии оценивания промежуточной аттестации представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Критерии оценивания промежуточной аттестации

Шкала оценивания	Критерии оценивания
«отлично»	**студент должен**: продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний материала; исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; правильно формулировать определения; уметь сделать выводы по излагаемому материалу; безупречно ответить не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины; продемонстрировать умение правильно выполнять практические задания, предусмотренные программой;
«хорошо»	**студент должен:** продемонстрировать достаточно полное знание материала; продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал; уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу; ответить на все вопросы билета; продемонстрировать умение правильно выполнять практические задания, предусмотренные программой, при этом возможно допустить непринципиальные ошибки.
«удовлетворительно»	**студент должен:** продемонстрировать общее знание изучаемого материала; знать основную рекомендуемую программой дисциплины учебную литературу; уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; уметь устранить допущенные погрешности в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий под руководством преподавателя, либо (при неправильном выполнении практического задания) по указанию преподавателя выполнить другие практические задания того же раздела дисциплины.
«неудовлетворительно»	**ставится в случае:** незнания значительной части программного материала; не владения понятийным аппаратом дисциплины; существенных ошибок при изложении учебного материала; неумения строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; неумения делать выводы по излагаемому материалу. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закрепленных за данной дисциплиной). Оценка «неудовлетворительно» выставляется также, если студент после начала экзамена отказался его сдавать или нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.).

3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Типовые задания в рамках самостоятельной работы студентов для укрепления теоретических знаний, развития умений и навыков, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной.

- Акустические и механические свойства полупроводников и композиционных полупроводниковых структур.
- Динамика кристаллической решетки.
- Электрон-фононное взаимодействие.
- Многочастичные взаимодействия в полупроводниках
- Мезоскопические явления в полупроводниках и композитных структурах
- Электропроводность и эффект Холла в квазидвумерной электронной системе в квантующем магнитном поле.
- Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла.
- Спиновый эффект Холла.

Примеры типовых тестовых **заданий**, выполняемых обучающимися для приобретения и развития знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями.

1.Основная классификация материалов микроэлектроники базируется на следующих свойствах:

1. Механических.
2. Оптических.
3. Электрических.
4. Химических.

2. Каковы основные типы материалов микроэлектроники по электрическим свойствам?

1. Сильномагнитные и слабомагнитные.
2.Проводники, полупроводники, диэлектрики.
3.Однородные и неоднородные.
4. Полярные и неполярные.

3.Предельные типы химической связи в веществах.

1. Металлическая, ионная, ковалентная,молекулярная.
2. Нейтронная, полярная, неполярная.
3. Существуют только смешанные связи.
4. Ионная, электронная и позитронная.

4. По каким признакам различаются агрегатные состояния материалов?

1. По степени шероховатости поверхности.
2. По расстоянию между атомами, определяемому соотношением потенциальной энергии взаимодействия атомов с кинетической энергией их теплового движения.
3. По количеству атомов в молекуле.
4. По коэффициенту преломления.

5. Какое квантовое число определяет величину энергии электрона и влияет на размеры атомной орбитали?

1.Главное.
2.Орбитальное.
3.Магнитное.
4.Спиновое.

6. За единицу измерения энергии электрона принята:

1. КВт.
2. эВ.
3. эрг.
4. В/м.

7. Когда атомы или ионы в кристалле находятся на расстояниях, соответствующих равновесным?

1. Потенциальная энергия кристалла минимальна.
2. Силы межатомного притяжения минимальны.
3. Силы отталкивания равны нулю.
4. Силы отталкивания максимальны.

8. Основные типы структуры твердого тела.

1. Предкристаллические, паракристаллические, смешанные.
2. Сверхкристаллические, субристаллические, неупорядоченные.
3. Монокристаллические, поликристаллические, неупорядоченные, стеклокристаллические.
4. Электронные и дырочные.

9. Твердое тело, представляющее собой совокупность случайным образом ориентированных относительно друг друга зерен — кристаллитов, называется:

1. Текстурой.
2. Поликристаллом.
3. Дефектным монокристаллом.
4. Идеальным монокристаллом.

10. Твердое тело формируется путем правильного повторения частиц (атомов, ионов или молекул) по трем координатам пространства.

1. Верно.
2. Неверно.
3. Только монокристалл.
4. Только стеклообразное вещество.

11. Наиболее характерными дефектами кристалла кремния, контролируемыми на производстве в микроэлектронике, являются:

1. Точечные — вакансии.
2. Линейные — дислокации.
3. Объемные — раковины, включения.
4. Плоскости двойникования.

12. Оптическая прозрачность материалов характеризуется:

1. Светопропусканием.
2. Коэффициентом отражения.
3. Коэффициентом поглощения.
4. Коэффициентом преломления.

13. Энергетический спектр электронов в твердом теле:

1. Непрерывен.
2. Дискретен.
3. Имеет зонную структуру.

4. Аналогичен спектру изолированного атома.

14. Запрещенная зона — это:

1. Интервал значений энергии, которыми не могут обладать собственные электроны твердого тела.
2. Энергетически разрешенный участок кристалла.
3. Зона, соответствующая минимуму энергии.
4. Зона, соответствующая максимуму энергии.

15. Физическая модель образования энергетических зон твердого тела.

1. Такой модели не существует.
2. Снятие вырождения путем расщепления дискретных энергетических уровней изолированного атома в зоны при сближении атомов и образовании твердого тела.
3. Модель Гей-Люссака.
4. Модель косвенного взаимодействия.

16. Какое из следующих утверждений верно?

1. В металлах подвижность электронов слабо влияет на удельное сопротивление.
2. В несильно легированных полупроводниках электропроводность определяется подвижностью носителей.
3. Электропроводность полупроводников составляет половину от электропроводности металлов.
4. Полупроводники должны иметь совершенную кристаллическую структуру, так как в противном случае подвижность носителей и удельное сопротивление оказываются неуправляемыми.

17. Признак, по которому можно отличить полупроводник от металла или сплава.

1. Значение удельного сопротивления.
2. Внешний вид.
3. Зависимость значений удельного сопротивления ρ от температуры.
4. Температура плавления.

18. Тип проводимости собственного полупроводника определяется:

1. Соотношением подвижностей электронов и дырок.
2. Шириной запрещенной зоны.
3. Соотношением концентраций электронов и дырок.
4. Концентрацией примеси.

19. Чтобы определить все три основные электрические характеристики материала (ρ, n, μ) необходимо:

1. Выполнить все три измерения.
2. Измерить лишь две величины, третью — рассчитать.
3. Измерить только дрейфовую скорость электронов.
4. Измерить только концентрацию носителей заряда.

20. Согласно закону действующих масс произведение равновесных концентраций электронов и дырок в примесном полупроводнике равно:

1. Постоянной Больцмана.
2. Квадрату собственной концентрации.
3. Значению 3/2 kT.
4. Постоянной Планка.

22. При облучении полупроводника носители генерируются парами электрон-дырка.

1. Верно.
2. Верно только для собственных полупроводников.
3 Верно только для равновесного состояния.
4. Неверно.

23. Примесный полупроводник можно превратить в собственный:

1. Охлаждением.
2. Нагревом.
3. Облучением.
4. Помещением в магнитное поле.

24. По мере повышения степени компенсации полупроводника подвижность носителей:

1. Увеличивается.
2. Уменьшается.
3.Остается неизменной.
4. Вначале растет, затем уменьшается.

25. Если действие прибора основано на *p-n*-переходе, предельная рабочая температура полупроводника ограничивается:

1. Термостойкостью.
2. Окислением.
3. Термическими напряжениями.
4. Переходом к собственной электропроводности.

26. Удельное сопротивление полупроводника при повышении температуры уменьшается потому, что:

1. Возрастает подвижность носителей.
2. Уменьшается ширина запрещенной зоны.
3. Растет концентрация носителей заряда
4.Увеличивается интенсивность колебаний кристаллической решетки.

27. Энергия ионизации электрически активных примесей значительно меньше ширины запрещенной зоны полупроводников по следующей причине.

1. Атом примеси ионизируется легче, чем атом полупроводника.
2. Концентрация примеси в полупроводнике невелика.
3. Утверждение неверно.
4. Из-за наличия дефектов структуры.

28. Цель легирования полупроводников:

1. Повышение механической прочности.
2. Уменьшение ширины запрещенной зоны.
3. Целенаправленное изменение электропроводности.
4. Получение нового химического соединения.

29. Какое из следующих утверждений верно?

1. Зона проводимости почти заполнена дырками.
2.Эффективная масса электрона, как правило, больше эффективной массы дырки.
3. Энергия связи собственного электрона полупроводника равна ширине запрещенной зоны.
4. Дырки достигают зоны проводимости за счет рекомбинации с электронами.

30. Концентрацию носителей заряда до значений, меньших собственной, можно снизить:

1. Глубокой очисткой полупроводника.
2. Компенсацией.
3. Нельзя снизить.
4. Нагреванием.

31. Общий ток в полупроводнике является:

1.Суммой токов электронов и дырок.
2. Разностью токов электронов и дырок.
3. Произведением токов электронов и дырок.
4. Частным от деления токов электронов и дырок.

32. Электропроводность примесного полупроводника растет экспоненциально с повышением температуры.

1. Всегда.
2. Неверно.
3. Верно, но только на участке истощения примесной электропроводности.
4. Верно, но только на участках примесной и собственной электропроводности.

33. Процессы возникновения свободных электронов в твердом теле, не содержащем примесей, обусловлены взаимодействием между энергетическими зонами:

1. Валентной и запрещенной зонами.
2. Валентной зоной и зоной проводимости.
3. Запрещенной зоной и зоной проводимости.
4. Такие процессы невозможны.

34. На какие свойства полупроводника влияет ширина запрещенной зоны?

1. На магнитную восприимчивость.
2. На электропроводность.
3. На теплопроводность.
4. На температуру плавления.

35. Электрону, находящемуся в атоме твердого тела, сообщили энергию, достаточную для того, чтобы он, покинув атом, стал свободным. При этом образуется свободный электрон и:

1. Положительно заряженный протон.
2. Отрицательно заряженный ион.
3. Положительно заряженный ион.
4. Квант света.

36. В каждом квантовом состоянии может находиться не более двух электронов с разными спинами. Это формулировка:

1. Принципа неопределенностей Гейзенберга.
2. Принципа Паули.
3. Правила Гунда.
4. Принципа Ле-Шателье.

37. Какой статистической функцией описывается вероятность распределения электронов по разрешенным энергетическим состояниям?

1. Обобщенной статистической функцией распределения.
2. Статистической функцией Ферми.
3 Статистической функцией Бозе-Эйнштейна.

4. Статистической функцией Бойля-Мариотта.

38.Атомами элементов какой группы периодической таблицы элементов Д.И. Менделеева образуются кристаллы кремния, германия и других элементарных полупроводников?

1. Только III.
2. Только IV.
3. Только V.
4. III и V.

39. Как и почему изменяется электрическое сопротивление полупроводников при увеличении температуры? (Напряжение на концах полупроводника - постоянно)

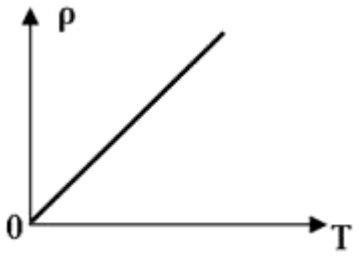
1.Уменьшается, так как увеличивается средняя скорость направленного движения электронов.

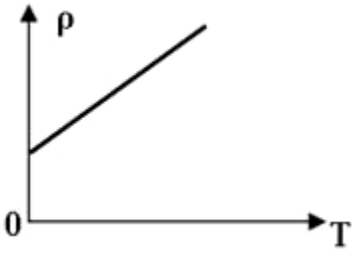
2.Увеличивается, так как увеличивается амплитуда колебаний положительных ионов, в узлах кристаллической решетки.

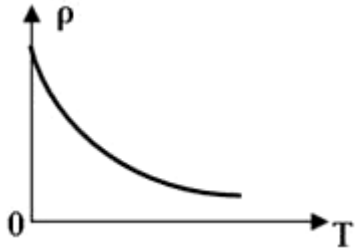
3.Уменьшается, так как увеличивается концентрация свободных носителей электрического заряда.

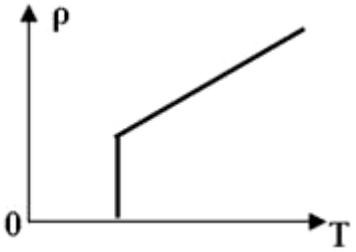
4.Увеличивается, так как увеличивается концентрация свободных носителей электрического заряда.

40. Какой из нижеприведенных графиков отражает зависимость удельного сопротивления полупроводника от температуры?

1) 

2) 

3) 

4) 

41.Укажите ошибочное утверждение о собственном полупроводнике.

1. Концентрации электронов и дырок в собственном полупроводнике одинаковы.
2. Электропроводность полупроводника уменьшается с ростом температуры.
3. Концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике зависит от ширины запрещенной зоны.
4. Собственный полупроводник не содержит легирующих примесей.

42. Какое из приведенных соотношений концентраций электронов (n) и дырок (p) характеризует примесный полупроводник с дырочной проводимостью?

1. n > p.
2. n >> p.
3. p >> n.

4. p = n.

43. Какие примесные атомы следует ввести в кристаллическую решетку четырехвалентного кремния, чтобы получить полупроводник n-типа?

1. Трехвалентный индий.
2. Четырехвалентный германий.
3. Пятивалентный фосфор.
4. Верны варианты 1 и 2.

44. На какой вопрос о примесном полупроводнике Вы бы ответили «нет»?

1. Зависит ли электропроводность примесного полупроводника от температуры?
2. Заполнены ли донорные уровни в полупроводнике n-типа при T=0 K?
3. Заполнены ли акцепторные уровни в полупроводнике p-типа при T=0 K?
4. Концентрации электронов и дырок равны?

45. На какой вопрос о примесном полупроводнике Вы бы ответили «да»?

1. Уровень Ферми примесного полупроводника соответствует середине запрещенной зоны?
2. Заполнены ли донорные уровни в полупроводнике n-типа приT=0 K?
3. Заполнены ли акцепторные уровни в полупроводнике p-типа при T=0 K?
4. Концентрации электронов и дырок равны?

46. Какие утверждения о p-n-переходе верны?

1. p-n и n-p переходы обладают выпрямляющим действием.
2. В p-n переходе возникает отличное от нуля электрическое поле.
3. При включении внешнего электрического поля в прямом направлении ширина p-n перехода $\Delta\ell$ уменьшается.
4. Все утверждения верны.

47. Укажите ошибочное утверждение о собственном полупроводнике.

1. Переход электрона из валентной зоны в зону проводимости означает его переход из связанного состояния в свободное.
2. Носителями заряда в зоне проводимости собственного полупроводника являются дырки.
3. В собственном полупроводнике при абсолютном нуле температур отсутствуют носители электрического тока.
4. В кристаллической решетке собственного полупроводника отсутствуют примесные атомы.

48.Чем отличаются полупроводники от проводниковых материалов?

1. Низкой удельной электропроводностью.
2. Удельная проводимость полупроводников растет с ростом температуры, а проводящих материалов – снижается.
3. Наличием запрещенной зоны в энергетической структуре.
4. Все варианты верны.

49.Чем отличаются полупроводники от электроизоляционных материалов?

1. Существенно большей электрической проводимостью.
2. Типом носителей заряда.
3. Меньшей шириной запрещенной зоны.
4. Все варианты верны.

50. Как зависит от температуры T подвижность μ носителей заряда в примесном полупроводнике?

1. Не зависит.
2. При низких температурах $\mu \sim T^{3/2}$, при высоких температурах $\mu \sim T^{-3/2}$.
3. При любой температуре $\mu \sim 1/T$;
4. При любой температуре $\mu \sim T$.

51.Вырожденным называется полупроводник, в котором:

1. Концентрация носителей заряда сравнима с плотностью разрешенных состояний.
2. Концентрация носителей заряда в германии или кремнии при комнатной температуре меньше 10^{-19} $см^{-3}$.
3. Статистическое распределение энергии электронов описывается функцией Максвелла-Больцмана
4. Уровень Ферми находится в середине запрещенной зоны.

52. Что такое дырка?

1. Положительно заряженный ион.
2. Протон.
3. Нарушенная ковалентная связь между атомами полупроводника.
4. Такого понятия не существует.

53. Какой полупроводник называют примесным?

1. Смесь нескольких различных полупроводников.
2. Механическую смесь частиц металла и диэлектрика.
3. Таких полупроводников не существует.
4. Полупроводник, содержащий в определенной концентрации примесь с валентностью, отличной от валентности основного полупроводника.

54. От чего зависит электропроводность полупроводников?

1. От концентрации носителей и подвижности носителей заряда.
2. От полярности приложенного напряжения.
3. От степени их очистки
4. Не зависит ни от каких факторов.

55. Что такое основные носители заряда?

1. Носители, концентрация которых самая низкая.
2. Такого понятия не существует.
3. Носители, концентрация которых наиболее высокая.
4. Носители, концентрация которых наиболее высока при температуре абсолютного нуля.

56. Как связаны между собой концентрации основных и неосновных носителей заряда в полупроводниках?

1. Законом Ома.
2. Соотношением Вульфа-Брегга.
3. Законом действующих масс.
4. Правилом левой руки.

57. Какой полупроводник является собственным?

1. Полупроводник, в котором равны концентрации донорной и акцепторной примесей.
2. Полупроводник, в котором отсутствуют легирующие примеси, а концентрации электронов и дырок равны.

3. Полупроводник, в котором отсутствуют носители заряда.
4. Полупроводник, температура которого превышает температуру Дебая на 157 К.

58. Может ли примесный полупроводник обладать собственной электропроводностью?
1. Нет, ни при каких условиях.
2. Да, при температуре абсолютного нуля.
3. Да, при такой температуре, при которой удвоенная концентрация собственных носителей заряда превышает концентрацию примеси.
4. Да, при температуре, превышающей температуру Дебая на 178 К.

59. Где на энергетической зонной диаграмме располагается уровень Ферми у примесных невырожденных полупроводников р-типа проводимости?
1. Посредине запрещенной зоны.
2. Вблизи валентной зоны.
3. Вблизи зоны проводимости.
4. В зоне проводимости.

60. Где на энергетической зонной диаграмме локализован уровень Ферми собственных полупроводников?
1. Посредине запрещенной зоны.
2. Вблизи валентной зоны.
3. Вблизи зоны проводимости.
4. В зоне проводимости.

61. Где на энергетической зонной диаграмме локализован уровень Ферми примесных невырожденных полупроводников *n*-типа проводимости?
1. Посредине запрещенной зоны..
2. Вблизи валентной зоны.
3. Вблизи зоны проводимости.
4. В валентной зоне.

62. При каких условиях возникает неравновесное состояние полупроводника.?
1. При постоянной температуре и отсутствии внешних энергетических воздействий.
2. При неравенстве скоростей генерации и рекомбинации носителей заряда.
3. Ни при каких.
4. Когда уровень Ферми находится в валентной зоне полупроводника.

63. При каких условиях образуется запирающий (обедненный) слой на границе металл-полупроводник *n*-типа?
1. При равенстве термодинамических работ выхода электрона из металла и полупроводника.
2. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла больше, чем из полупроводника.
3. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла меньше, чем из полупроводника.
4. Ни при каких.

64. При каких условиях образуется запирающий (обедненный) слой на границе металл-полупроводник *p*-типа?
1. При равенстве термодинамических работ выхода электрона из металла и полупроводника.

2. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла больше, чем из полупроводника.
3. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла меньше, чем из полупроводника.
4. Ни при каких.

65. При каких условиях образуется антизапирающий (обогащенный) слой на границе металл-полупроводник *n*-типа?
1. При равенстве термодинамических работ выхода электрона из металла и полупроводника.
2. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла больше, чем из полупроводника.
3. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла меньше, чем из полупроводника.
4. Ни при каких.

66. При каких условиях образуется антизапирающий (обогащенный) слой на границе металл-полупроводник *p*-типа?
1. При равенстве термодинамических работ выхода электрона из металла и полупроводника.
2. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла больше, чем из полупроводника.
3. Когда термодинамическая работа выхода электрона из металла меньше, чем из полупроводника.
4. Ни при каких.

67. Что такое эффективная масса носителя заряда?
1. Фундаментальная характеристика твердого тела, позволяющая рассматривать носитель, движущийся в периодическом потенциальном поле кристаллической решетки как свободный.
2. Масса носителя, соответствующая середине запрещенной зоны.
3. Масса носителя, соответствующая массе покоя.
4. Масса носителя, соответствующая минимуму зоны проводимости полупроводника в k-пространстве.

68. Что такое уровень Ферми?
1. Уровень, вероятность заполнения которого равна 1.
2. Уровень, вероятность заполнения которого равна 0.
3 .Уровень, всегда локализованный в запрещенной зоне любого полупроводника.
4. Вероятностная термодинамическая характеристика твердого тела. При совпадении энергии какого-либо уровня с уровнем Ферми вероятность его заполнения равна 0,5.

69. Какие применения в микроэлектронике нашли контакты металл-полупроводник?
1. Фоторезисторы.
2. Диоды Шоттки, омические контакты.
3. Тиристоры.
4. Варикапы.

70. Как зависит концентрация носителей заряда в металлах и сплавах от температуры?
1. Возрастает по экспоненциальной зависимости.
2. Уменьшается по экспоненциальной зависимости.
3. Не зависит.

4. Зависимость имеет вид кривой с максимумом.

71. Как зависит концентрация носителей заряда в полупроводниках от температуры?
1. Не зависит.
2. Зависимость имеет вид кривой с максимумом.
3. Возрастает по экспоненциальной зависимости.
2. Уменьшается по степенной зависимости.

72. Как зависит подвижность носителей заряда в полупроводниках от температуры при рассеянии на ионизированных примесных атомах?
1. Возрастает пропорционально $T^{3/2}$.
2. Уменьшается по экспоненциальной зависимости.
3. Не зависит.
4. Зависимость имеет вид кривой с максимумом.

73. Как зависит подвижность носителей заряда в полупроводниках от температуры при рассеянии на тепловых колебаниях кристаллической решетки?
1. Возрастает пропорционально $T^{3/2}$.
2. Уменьшается пропорционально $T^{3/2}$.
3. Не зависит.
4. Зависимость имеет вид кривой с максимумом.

74. Что такое температура Дебая?
1. Температура начала кристаллизации полупроводника.
2. Температура, соответствующая максимальной частоте тепловых колебаний кристаллической решетки.
3. Температура, соответствующая началу собственной проводимости.
4. Температура, соответствующая началу участка истощения примеси.

75. Что такое фононы?
1. Кванты энергии электромагнитного излучения.
2. Кванты энергии плазменных колебаний.
3. Кванты энергии спиновых волн в ферромагнитных материалах.
4. Кванты энергии тепловых колебаний кристаллической решетки.

76. Какой статистике подчиняется коллектив носителей заряда вырожденного полупроводника?
1. Максвелла-Больцмана.
2. Ферми-Дирака.
3. Бозе-Эйнштейна.
4. Гейзенберга-Зоммерфельда.

77. Какой статистике подчиняется коллектив носителей заряда невырожденного полупроводника?
1. 1. Максвелла-Больцмана и Ферми-Дирака.
2. Гейзенберга-Зоммерфельда.
3. Ле-Шателье.
4. Вульфа-Брегга.

78. Как зависит удельная электропроводность полупроводников от температуры?
1. Не зависит.
2. Зависимость имеет вид кривой с максимумом.
3. Возрастает по экспоненциальной зависимости.

4. Уменьшается по степенной зависимости.

79. Как зависит удельная электропроводность металлов и сплавов от температуры?.

1. Не зависит.
2. Зависимость имеет вид кривой с максимумом.
3. Возрастает по экспоненциальной зависимости.
4. При никой температуре не зависит, затем практически линейно уменьшается.

80. Какой параметр является пространственной характеристикой процесса релаксации основных носителей заряда?

1. Диффузионная длина.
2. Длина ионизации.
3. Дебаевская длина экранирования.
4. Длина дрейфа.

81. Какой параметр является пространственной характеристикой процесса релаксации неосновных носителей заряда?

1. Диффузионная длина.
2. Длина ионизации.
3. Дебаевская длина экранирования.
4. Длина поглощения.

82. Какой параметр является временной характеристикой процесса релаксации основных носителей заряда?

1. Диффузионное время.
2. Максвелловское время релаксации.
3. Время жизни.
4. Время пролета.

83.Какой параметр является временной характеристикой процесса релаксации неосновных носителей заряда?

1. Время жизни.
2. Максвелловское время релаксации.
3. Время рекомбинации.
4. Время пролета.

84. Как классифицируются механизмы рекомбинации носителей заряда по уровню возбуждения (инжекции)?

1. Излучательная и безизлучательная.
2. Линейная и квадратичная.
3. Межзонная и через ловушечные уровни.
4. Основная и неосновная.

85. Как классифицируются механизмы рекомбинации носителей заряда по характеру межзонного взаимодействия?

1. Излучательная и безизлучательная.
2. Линейная и квадратичная.
3. Прямая и через ловушечные уровни.
4. Равновесная и неравновесная.

86. Как классифицируются механизмы рекомбинации носителей заряда по характеру выделяющейся в результате рекомбинации энергии?

1. Излучательная и безизлучательная.
2. Линейная и квадратичная.
3. Межзонная и через ловушечные уровни.
4. Прямая и неосновная.

87. При каких условиях понятие уровня Ферми заменяется на понятие квазиуровня Ферми?
1. Ни при каких.
2. При равенстве скоростей генерации и рекомбинации носителей заряда.
3. В неравновесных условиях, т.е. при неравенстве скоростей генерации и рекомбинации носителей заряда.
4. В сплавах.

88. Какой полупроводник называют полностью скомпенсированным?
1. Смесь нескольких различных полупроводников.
2. Механическую смесь частиц металла и диэлектрика.
3. Таких полупроводников не существует.
4. Полупроводник, содержащий в одинаковых концентрациях донорную и акцепторную примеси.

89. Какой полупроводник называют частично скомпенсированным?
1. Смесь нескольких различных полупроводников.
2. Механическую смесь частиц металла и диэлектрика.
3. Полупроводник, содержащий донорную и акцепторную примеси, причем концентрация примеси одного из типов больше, чем другого.
4. Полупроводник, содержащий в одинаковых концентрациях донорную и акцепторную примеси.

90. Какова природа заряда, существующего по обе стороны от металлургической границы *p-n*-перехода и образующего области пространственного заряда?
1. Электроны и дырки.
2. Протоны и нейтроны.
3. Ионизированные атомы донорной и акцепторной примесей.
4. Природа заряда пока не установлена.

91. Какова природа прямого тока *p-n*-перехода?
1. Дрейф неосновных носителей заряда.
2. Перемещение ионов примеси.
3. Прыжковая проводимость.
4. Диффузия основных носителей заряда.

92. Какова природа обратного тока *p-n*-перехода?
1. Перемещение ионов примеси.
2. Диффузия основных носителей заряда.
3. Дрейф неосновных носителей заряда в электрическом поле области пространственного заряда.
4. Прыжковая проводимость.

93. Какие типы поглощения электромагнитного излучения существуют в полупроводниковых материалах?
1. Основное и неосновное.
2. Собственное, примесное, экситонное, свободными носителями заряда, кристаллической решеткой.

3. Излучательное и безизлучательное.
4. Зоммерфельда, Блоха, Гейзеберга и Шредингера.

94. Что такое экситон?
1. Квант электромагнитного излучения.
2. Квант тепловых колебаний кристаллической решетки.
3. Пара электрон-дырка, связанная силой кулоновского притяжения с энергией, почти равной ширине запрещенной зоны, и способная поглощать электромагнитное излучение.
4. Единица измерения напряженности магнитного поля.

95. Зная коэффициент диффузии электрона в полупроводнике и температуру, его подвижность можно определить:
1. Только экспериментально.
2. Расчетом на основании формулы Фарадея.
3. По уравнению Эйнштейна.
4. По уравнению Навье-Стокса.

Примеры **контрольных заданий**, выполняемых обучающимися для приобретения и развития знаний и практических умений, предусмотренных компетенциями.

1357861

1. Определить ширину запрещенной зоны собственного полупроводника, если известно, что при повышении температуры от T_1 до T_2.концентрация носителей заряда изменилась от n_{i1} до n_{i2}.

2. Найти концентрации электронов и дырок, а также положение уровня Ферми для германия, содержащего $5\cdot10^{22}$ м$^{-3}$ атомов мышьяка при 300 и 600 К. Изобразить зонные диаграммы.

3. Вычислить коэффициент Холла для кремния, содержащего 10^{22} м$^{-3}$ примеси бора, при 300 К. .

4. Длина волны фонона, соответствующего частоте $\omega = 0{,}01\omega_{макс}$, равна 52 нм. Найти характеристическую температуру Дебая, если усредненная скорость звука в кристалле равна 4,8 км/с.

5. В момент времени t_0 в полупроводник n-типа было введено небольшое количество избыточных дырок. Найти концентрацию дырок, которая осталась несвязанной к моменту времени t_1.

0678453

1. Определить концентрации электронов и дырок, а также положение уровня Ферми для германия, содержащего $5\cdot10^{22}$ м$^{-3}$ атомов мышьяка при 300 К. Изобразить зонную диаграмму.

2. Найти интервал энергии от уровня Ферми до середины запрещенной зоны в беспримесном кремнии при 300 К, если эффективная масса электрона в зоне проводимости в раза меньше эффективной массы дырки в валентной зоне. Изобразить зонную диаграмму.

3. Вычислить коэффициент Холла для собственного кремния при температуре 300 К. Температурной зависимостью подвижности пренебречь.

4. Определить квазиимпульс фонона, соответствующего частоте $\omega = 0{,}1\omega_{макс}$. Усредненная скорость звука в кристалле равна 1380 м/с, $T_д = 100$ К.

5. Найти концентрацию ловушек в собственном полупроводнике при комнатной температуре, если сечения захвата электронов и дырок равны и составляют 10^{-16} см$^{-2}$, время жизни избыточных носителей заряда равно 30 мкс. Считать, что уровень возбуждения невелик, а рекомбинация протекает через центры, локализованные посередине запрещенной зоны.

Список **типовых контрольных вопросов** для оценки уровня сформированности знаний, умений и навыков, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной.

1. Доноры и акцепторы в кубических полупроводниках. Мелкие и глубокие уровни в запрещенной зоне.
2. Невырожденные и вырожденные полупроводники.
3. Собственные полупроводники, Зависимость собственной концентрации свободных носителей заряда.
4. Зависимость положения уровня Ферми в собственном полупроводнике от температуры.
5. Закон действующих масс. Уравнение электронейтральности.
6. Зависимость концентрации электронов в невырожденном полупроводнике *n*-типа от температуры.
7. Зависимость положения уровня Ферми в невырожденном полупроводнике *n*-типа от температуры.
8. Зависимость концентрации дырок в невырожденном полупроводнике *p*-типа от температуры.
9. Кинетическое уравнение Больцмана.
10. Зависимость положения уровня Ферми в невырожденном полупроводнике *p*-типа от температуры.
11. Зависимость электропроводности металлов и сплавов от температуры.
12. Подвижность свободных носителей заряда. Рассеяние носителей заряда в металлах и полупроводниках. Основные механизмы рассеяния носителей заряда.
13. Зависимость удельной электропроводности невырожденного полупроводника *n*-типа от температуры
14. Зависимость удельной электропроводности невырожденного полупроводника *p*-типа от температуры
15. Зависимость подвижности свободных носителей заряда от температуры и концентрации мелких примесей.
16. Тепловые колебания кристаллической решетки. Гармоническое приближение. Акустические колебания, параметры.
17. Тепловые колебания кристаллической решетки. Гармоническое приближение. Оптические колебания, параметры.
18. Корпускулярное приближение для описания тепловых колебаний кристаллической решетки твердого тела, фононы.
19. Теплоемкость твердых тел. Приближение Эйнштейна.
20. Теплоемкость твердых тел. Приближение Дебая.
21. Термоэлектрические эффекты, применение в электронике.
22. Явление Зеебека, применение в электронике.
23. Явление Пельтье, применение в электронике.

24. Эффект Холла, применение в электронике.

25. Диффузионно- дрейфовые уравнения.

26. Уравнение (соотношение) Эйнштейна.

27. Неравновесные носители заряда. Низкий и высокий уровни возбуждения (инжекции).

28. Параметры, описывающие релаксацию основных неравновесных носителей заряда во времени. Максвелловская (диэлектрическая) релаксация. Графическая интерпретация. Факторы, определяющие время максвелловской релаксации в твердом теле.

29. Пространственные характеристики релаксации основных неравновесных носителей заряда. Дебаевская длина экранирования. Графическая интерпретация.

30. Уравнение непрерывности (неразрывности). Параметры, описывающие релаксацию неосновных неравновесных носителей заряда во времени. Время жизни неосновных неравновесных носителей заряда Графическая интерпретация.

31. Время жизни неосновных неравновесных носителей заряда (3 определения).

32. Пространственные характеристики релаксации неосновных неравновесных носителей заряда. Диффузионная длина.

33. Пространственные характеристики релаксации неосновных неравновесных носителей заряда. Длина (глубина) затягивания. Длина дрейфа, инжекция, экстракция. Графическая интерпретация.

34. Классификация механизмов рекомбинации носителей заряда в соответствии с уровнем возбуждения (линейная и квадратичная). 35. Классификация механизмов рекомбинации носителей заряда по характеру зонного энергетического взаимодействия и характеру выделяемой энергии.

36. Рекомбинация по Шокли-Риду. Зависимость времени жизни неосновных неравновесных носителей заряда от температуры.

37. Зависимость времени жизни неосновных неравновесных носителей заряда от концентрации основных носителей заряда.

38. Квазиуровни Ферми. Связь между положением уровня и квазиуровня Ферми при низком уровне инжекции и экстракции электронов в невырожденном дырочном полупроводнике.

39. Квазиуровни Ферми. Связь между положением уровня и квазиуровня Ферми при низком уровне инжекции и экстракции дырок в невырожденном электронном полупроводнике.

40. Механизмы поглощения электромагнитного излучения твердым телом.

4. Критерии оценивания решений тестовых и контрольных задач

Компетенция	Критерий (студент должен)
ОПК-1 - Способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения. ПК-1 - Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные	**Пороговый уровень:** Правильные и исчерпывающие ответы более чем на 40% вопросов тестовых и контрольных заданий. Оценка «удовлетворительно»
	Продвинутый уровень: Правильные и исчерпывающие ответы более чем на 60% вопросов тестовых и контрольных заданий. Оценка «хорошо»

методы и средства решения сформулированных задач. ПК-4 - Способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов. ПК-6 - Способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников.	**Эталонный уровень:** Правильные и исчерпывающие ответы более чем на 80% вопросов тестовых и контрольных заданий. Оценка «отлично»