

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2025 15:11:42

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736106866e98218460

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



И.Г. Игнатова

«13» декабря 2020 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и нанoeлектроника»

2020 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих профессиональных компетенций образовательной программы:

Компетенция ПК- 1 «Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»

Обобщенная трудовая функция: Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки

Трудовые функции: А/01.6 «Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки» и А/02.6 «Определение основных статических и динамических характеристик стандартных ячеек библиотеки»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1.ФКС «Способен строить физические и математические модели электромагнитных и тепловых процессов в конденсированных средах, используемых при создании элементов и приборов нанoeлектроники»	- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; - математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования;	Знать: - основные электрические, тепловые и магнитные свойства твердых тел; Уметь: - делать количественные оценки электрических, тепловых и магнитных параметров твердых тел при определенных условиях; Иметь опыт: - составления математической модели для описания электрических, тепловых и магнитных свойств твердого тела

Компетенция ПК-2 «Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

Обобщенная трудовая функция: Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

Трудовые функции: С/01.6 «Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-2.ФКС «Способен определять электронные параметры конденсированных сред, используемых при создании элементов и приборов наноэлектроники, по полученным результатам экспериментальных измерений	- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; - участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;	Знать: - физические основы измерительных методик для определения параметров р-п переходов и контактов металл-полупроводник Уметь: - вычислять электрические параметры твердых тел по наблюдаемым экспериментальным данным; Иметь опыт: - обработки экспериментальных данных

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Для её освоения требуются знания, умения и опыт деятельности, приобретаемые студентами при изучении следующих дисциплин: Математический анализ; Физика. Электричество и магнетизм; Физика. Атомная физика и строение вещества; Теория вероятностей и математическая статистика; Квантовая механика, Физические основы электроники, материалы электронной техники

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
3	6	5	180	32	16	16	80	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Электрические свойства проводников и полупроводников	8	–	6	16	Опрос
2. Колебания решетки и тепловые свойства кристаллов	8	–	2	16	Опрос
3. Электрические свойства диэлектриков.	6	–	4	14	Опрос Коллоквиум
4. Магнетизм и сверхпроводимость	10	–	4	14	Опрос Сдача решений практикоориентированных задач
5. Лабораторный практикум	–	16	–	20	Подготовка, выполнение и защита лабораторных работ

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1,2	4	Электронный газ в кристаллах. Классификация твердых тел на металлы, полуметаллы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Классическая модель электронного газа: время свободного пробега, длина свободного пробега, средняя скорость, подвижность, проводимость, плотность тока. Блоховские осцилляции. Зависимость электропроводности и диэлектрической проницаемости от частоты. Плазменные колебания и колебания плазмы (закон дисперсии поперечных колебаний электромагнитного поля в плазме). Эффект Холла. Холловское сопротивление в двумерных системах, условие квантования.
	3	2	Распространение электромагнитных волн в проводнике. Скин-эффект, толщина скин-слоя. Коэффициент отражения электромагнитных волн от металла, предел Хагена -Рубенса. Объемный и поверхностный плазмоны. Эквивалентная электрическая схема кристалла.

	4	2	Квантовый электронный газ. Функция распределения. Энергия и импульс Ферми при нулевой температуре. Теплоемкость электронного газа. Сравнение описания кинетических свойств электронного газа в классической и квантовой теории (электрический ток, закон Видемана-Франца). Топологические фазы материи. Нобелевская премия по физике 2016 г. Квантовый электронный газ в задачах астрофизики: белый карлик и нейтронная звезда.
2	5	2	Колебания решетки. Классификация твердых тел по типу химической связи. Гармоническое приближение для описания колебаний атомов. Функция Лагранжа и уравнения движения для упругих колебаний решетки. Моды колебаний кристалла. Акустические и оптические моды колебаний на примере одномерного кристалла с двумя атомами в базисе.
	6	2	Фононы. Переход к квантовомеханическому описанию колебаний кристалла. Энергия и функция распределения фононов. Операторы рождения и уничтожения фононов. Комбинационное рассеяние света
	7	2	Тепловые колебания кристалла. Теплоёмкость решетки при низких температурах. Температура Дебая. Теплоемкость решетки при высоких температурах. Теории теплоёмкости Дебая и Эйнштейна. Дифракция волн на колеблющейся решетке. Фактор Дебая-Уоллера и эффект Мессбауэра.
	8	2	Ангармонические эффекты в кристаллах. Тепловое расширение твердых тел. Тепловое расширение и взаимодействие фононов. Критерий Линдемана для температуры плавления. Теплопроводность решетки. Зависимость ширины запрещенной зоны полупроводников от температуры. Нулевые колебания. Квантовый кристалл. Электрон-фононное взаимодействие
3	9, 10	4	Отклик кристалла на внешнее электрическое поле. Диэлектрические поляризуемость и восприимчивость. Локальное поле, формула Клаузиуса-Моссотти. Электронная (атомная) поляризуемость. Ионная поляризуемость (поляризуемость смещений) и соотношение Лиддена-Сакса-Теллера. Ориентационная поляризуемость и функция Ланжевена. Поляризационная катастрофа. Сегнетоэлектричество. Теория фазовых переходов второго рода Ландау. Диэлектрическая восприимчивость в окрестности температуры сегнетоэлектрического перехода. Элементы памяти на сегнетоэлектриках (FRAM).
	11	2	Электромагнитные волны в кристаллах. Поляритоны. Поверхностный плазмон-поляритон. Фотонные кристаллы. Метаматериалы. Различия между правыми и левыми средами. Экспериментальные подходы к изготовлению метаматериалов. Электрооптические эффекты в кристаллах.
4	12	2	Основные типы магнетиков. Диамагнетизм и парамагнетизм. Магнетизм локализованных электронов (парамагнетизм Кюри, парамагне-

			тизм Ван-Флека, диамагнетизм Ланжевена). Магнетизм коллективизированных (зонных) электронов (диамагнетизм Ландау, парамагнетизм Паули).
	13	2	Спонтанная намагниченность. Ферромагнетизм, антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Домены в сегнетоэлектриках и ферромагнетиках. Гистерезис и коэрцитивная сила. Теория Ландау и закон Кюри-Вейсса для магнитной восприимчивости. Микроскопическая природа ферромагнетизма. Поле Вейсса и обменное взаимодействие. Спиновые волны и магноны.
	14	2	Основы спинтроники. Доменные стенки Блоха и Нееля. Цилиндрические магнитные домены и вертикальные блоховские линии. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление. Магнитные элементы памяти с произвольным доступом (MRAM). Спинполяризованный транспорт и спиновый транзистор.
	15, 16	4	Сверхпроводимость. Нулевое сопротивление и эффект Мейсснера. Теория Гинзбурга-Ландау и квантование магнитного потока. Лондонская глубина проникновения. Корреляционная длина. Сверхпроводники первого и второго рода, промежуточное и смешанное состояние, вихри Абрикосова. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Куперовские пары и теория Бардина-Купера-Шриффера. Сверхпроводящие магниты

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Кинетические процессы в электронном газе.
	2	2	Квантовый электронный газ.
	3	2	Приближение почти свободных электронов.
2	4	2	Колебания кристаллической решетки.
3	5	2	Квазичастицы в твёрдом теле.
	6	2	Коллоквиум
4	7	2	Диэлектрические и магнитные свойства твёрдого тела.
	8	2	Сверхпроводники.

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лаборатор- ной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
5	1	4	Определение времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках.
	2	4	Исследование р-п перехода и определение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости обратного тока.
	3	4	Определение характеристик структуры металл-полупроводник вольт-фарадным методом.
	4	4	Измерение вольтамперной характеристики контакта металл - полупроводник и определение по ней его электрофизических параметров.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1–4	16	Работа с конспектом лекций. Чтение и разбор рекомендованной литературы.
	8	Работа с Интернет-ресурсами, базами данных и периодическими изданиями.
	32	Решение практикоориентированных задач
	12	Подготовка к опросам
	12	Подготовка к коллоквиуму
5	6	Подготовка к выполнению лабораторной работы: чтение теоретического материала, написание краткого конспекта основных теоретических сведений, изучение схемы экспериментальной установки, изучение методики выполнения работы
	6	Обработка экспериментальных результатов. Подготовка ответов на поставленные преподавателем вопросы.
	8	Написание отчёта о проделанной работе. Подготовка к защите лабораторной работы.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Выполнение курсовых работ (проектов) не предусмотрено

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Модули 1–4

1. Теоретический материал по тематике лекций и семинарских заданий
2. Список вопросов к коллоквиуму
3. Список учебной литературы
4. Методические указания студенту
5. Перечень практических задач для самостоятельного решения
6. Дополнительные материалы к дисциплине: перечень профессиональных баз данных, используемых для решения задач

Модуль 5 «Лабораторный практикум»

1. Описания лабораторных работ
2. Список контрольных вопросов
3. Список практических задач

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература:

1. Горбачевич А.А., Журавлев М.Н. Физика полупроводников / М.: МИЭТ, 2017. - 136 с.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела : В 2-х т.: Пер. с англ. под ред. пер. М.И. Каганова. - М. : Мир, 1979. - 422 с.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Перепечатка с изд. 1978 г. - М. : Альянс, 2014. - 792 с.
4. Кардона Ю. П. Основы физики полупроводников //М.: Физматлит. – 2002. –560 с.
6. Теоретическая физика: Учеб. пособие для ун-тов: В 10-ти т.. Т. 9, Ч. 2 : Теория конденсированного состояния / Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.. - 2-е изд., испр. и доп.. - М. : Физматлит, 2000. - 494 с

Периодические издания:

1. УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК : Научный журнал / Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Редакция журнала УФН. - М. : РАН, 1918 - . - URL:<http://ufn.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
2. ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ : Научный журнал / РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы. - М. : РАН, Наука, 1873 - . – URL:<http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
3. ПИСЬМА В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ = JETP Letters / Российская академия наук, Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН. - М. : ИКИ Академкнига, 1965 - . – URL: <http://www.jetpletters.ac.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
4. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS / American Institute of Physics. - USA : AIP, [б.г.]. – URL: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: по подписке МИЭТ.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе: База данных параметров полупроводниковых материалов [Электронный ресурс] URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html> (дата обращения: 27.11.2020).
2. Справочная система по Matlab: документация к пакету Matlab [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mathworks.com/help/> (дата обращения: 27.11.2020).
3. Институт экспериментальной минералогии РАН: База данных кристаллических структур Института экспериментальной минералогии РАН [Электронный ресурс] URL: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/search.php?> (дата обращения: 27.11.2020).

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

В ходе реализации обучения используются технологии смешанного обучения.

Применяется модель смешанного обучения «перевернутый класс». Учебный процесс начинается с постановки проблемного задания, для выполнения которого студент должен самостоятельно ознакомиться с материалом, размещенным в электронной среде. В аудитории проверяются и дополняются полученные знания с помощью дискуссий и решения практических задач. Работа поводится по следующей схеме: СРС (онлайновая предаудиторная работа с использованием внешнего или внутреннего ресурса) - аудиторная работа (семинар или лабораторная работа с представлением и обсуждением выполненной работы, решение практических задач с опорой на результаты самостоятельной работы) - обратная связь с обсуждением и подведением итогов.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя, zoom-консультации.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы в системе ОРИОКС

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория		
Лаборатория физики конденсированного состояния (ауд. 4347)	Персональные компьютеры Высокочастотный анализатор полупроводников Генератор импульсный Agilent 33220A Измеритель добротности 50 кгц-35мгц ВМ-	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional

	560 Комплект из 6-ти интерфейсных устройств PCI-GPIB NI-488.2 Осциллограф 2 канальный 100МГц TDS 2012B СБ E6550/iG33/1024MB/250G/CF7300/266/DESK TOP/ms Вольтметр Agilent 34405A Вольтметр Agilent 34411A Вольтметр универсальный В7-30 Измеритель RCL Измеритель добротности BM-560 Измеритель цифровой E7-12 Источник питания Agilent E3634A Источник питания 0-30 В, 0-5А GPR-3060D Источник питания 0-30 В, 0-3А Б5-47 Цифровой мультиметр Agilent 34405A Источник питания Agilent 6645A	Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по подкомпетенции ПК-1.ФКС «Способен строить физические и математические модели электромагнитных и тепловых процессов в конденсированных средах, используемых при создании элементов и приборов нанoeлектроники».
2. ФОС по подкомпетенции ПК-2.ФКС «Способен определять электронные параметры конденсированных сред, используемых при создании элементов и приборов нанoeлектроники, по полученным результатам экспериментальных измерений».

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Изучение материала дисциплины происходит во время лекционных занятий, семинарских занятий, лабораторных работ и в ходе самостоятельной работы. Посещение лекций, семинаров и лабораторных работ обязательно.

Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся преподавателем еженедельно, их посещать необязательно.

Цель лекций, семинаров – обучение базовым знаниям и умениям. Освоение дисциплины на повышенном уровне в значительной степени осуществляется студентом самостоятельно. Лектор предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему лекции, которая читалась на неделе, предшествующей консультации.

На семинарах, проводимых в диалоговом режиме, студенты получают специальные знания, умения и опыт деятельности посредством разбора и решения модельных задач. Модельная задача представляет собой упрощённое представление изучаемых процессов, допускающее относительно простую математическую формализацию. Характерной особенностью семинарского занятия является обсуждение со студентами применимости физических законов, математических выкладок и возникающих в процессе решения задачи сложностей.

Для приобретения опыта деятельности по будущей профессии, в течение семестра для самостоятельно разбора и изучения выдаются практикоориентированные задачи. Каждая задача представляет собой миниатюрную исследовательскую проблему, а процесс её решения моделирует научно-исследовательскую работу. Как показывает практика, наибольшую трудность при решении представляет формализация условия, т. е. перевод информации с русского языка на язык математических законов, формул и отношений. В данном случае, для облегчения поиска ответа необходимо научить студентов отбрасывать несущественные детали условия, пользоваться упрощёнными моделями и схемами, опираться на известные физические законы.

Выполнению лабораторной работы предшествует предварительная подготовка, в ходе которой необходимо изучить теоретический материал по тематике лабораторной работы и разобрать схему проведения эксперимента. К выполнению работы допускается студент, продемонстрировавший знания объекта исследований, методики проведения экспериментов и имеющий заготовленные заранее формы представления экспериментальных результатов. Лабораторные работы проводятся, как правило, в интерактивном режиме при работе в малых группах и диалоге с преподавателем с разбором конкретных ситуаций в процессе выполнения исследований и при защите полученных результатов. По окончании каждой лабораторной работы проводится обсуждение и защита результатов выполнения работы с каждым студентом.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (суммарно 60 баллов) и сдача экзамена (40 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент каф. КФН, к. ф.-м. н.



/Журавлёв М. Н. /

Рабочая программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Квантовые приборы и нанoeлектроника» разработана на кафедре квантовой физики и нанoeлектроники (КФН) и утверждена на заседании кафедры 17 декабря 2020 года, протокол № 12

Заведующий кафедрой КФН



/А. А. Горбачевич/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК



/ И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки



/ Т.П.Филиппова /