

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 18.06.2026 11:55:58
Уникальный программный ключ:
f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

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

А.Г. Балашов

«18» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физические основы электроники»

Направление подготовки – 27.03.05 «Инноватика»

Направленность (профиль) – «Инноватика и управление наукоемким производством»

Москва 2025

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих профессиональных компетенций образовательной программы:

ОПК	Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Индикаторы достижения компетенций
ОПК-2 Способен формулировать задачи профессиональной деятельности на основе знаний профильных разделов математических, технических и естественно-научных дисциплин (модулей)	ОПК-2.ФОЭ Способен учитывать специфику и особенности кристаллических полупроводников, базовых материалов современной электроники при формулировании задач профессиональной деятельности	Знание: - основные электронные свойства полупроводников, определяющих рабочие параметры дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем различного функционального назначения; Умение: - делать количественные оценки электрических параметров полупроводников при определённых условиях; Опыт: - составления математической модели для описания электронных процессов в полупроводниках.

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.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные работы (часы)		
2	3	5	180	32	32	—	80	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные работы (часы)		
1. Строение и электронные свойства полупроводниковых кристаллов	12	12	–	32	Опрос 1
					Опрос 2
					Выполнение практикоориентированного задания
2. Статистика носителей заряда в полупроводниках	14	16		36	Опрос 3
					Коллоквиум
					Выполнение и защита практикоориентированного задания
3. Аморфные и органические полупроводники, границы раздела	6	4	–	12	Опрос 4

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Типы конденсированных сред. Симметрия и структура кристаллов. Определение конденсированного состояния, классификация конденсированных сред; геометрическая структура кристаллов, элементы симметрии, решетки Бравэ; типы кристаллических сингоний; кристаллическая структура основных полупроводников, квазикристаллы
	2	2	Обратная решетка. Дифракция рентгеновских лучей на кристалле. Кристаллографические координаты, индексы Миллера; дифракция рентгеновских и электронных волн на кристалле, условия дифракции Лауэ и Вульфа-Брэгга, брэгговские плоскости, обратная решетка, структурные и атомные факторы рассеяния.
	3,4	4	Основы зонной теории твёрдого тела. Адиабатическое и одноэлектронное приближения зонной теории. Уравнение Шредингера в периодическом потенциале, граничные условия Борна-Кармана, теорема Блоха и блоховская волновая функция. Энергетические зоны, зоны Бриллюэна, число состояний в зоне Бриллюэна; классификация кристаллов на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Эффективная масса носителя заряда в кристалле, поверхность Ферми и уровень Ферми; плотность состояний.

	5	2	Особенности зонной структуры основных полупроводников. Понятие дырки. Особенности зонной структуры полупроводников 4-й группы и соединений A ₃ B ₅ , sp ³ -гибридизация. Эллипсоиды проводимости. Легкие и тяжелые дырки.
	6	2	Типы и роль примесей в кристаллах. Типы и роль примесей в кристаллах. Доноры и акцепторы, мелкие и глубокие примесные состояния. Водородоподобные примесные центры. Методы описания примесей в кристалле, метод эффективной массы.
2	7	2	Концентрация носителей заряда в полупроводниках. Функция распределения носителей заряда в полупроводниках. Концентрации электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне
	8	2	Уравнение электронейтральности. Функция заполнения примесного центра. Концентрация электронов в зоне проводимости полупроводников 4-й группы и соединений A ₃ B ₅ . Золотое правило статистики. Уравнение электронейтральности. Функция заполнения примесного центра. Собственные полупроводники
	9	2	Концентрация носителей заряда в легированных полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в донорном полупроводнике. Акцепторные полупроводники. Компенсированные полупроводники
	10	2	Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Генерация и рекомбинация. Типы и механизмы рекомбинации. Время жизни. Квазиуровень Ферми. Концентрация носителей заряда в присутствии электростатического потенциала.
	11	2	Время жизни при различных механизмах рекомбинации. Рекомбинация зона-зона. Рекомбинация через ловушки. Модель Шокли-Рида-Холла. Зависимость времени жизни от концентрации и положения уровня ловушки. Оже-рекомбинация
	12, 13	4	Кинетические процессы в полупроводниках. Уравнения непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Подвижность и коэффициент диффузии. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярные диффузия и дрейф. Диффузионная длина. Экранирование электрического поля в полупроводнике. Дебаевская длина экранирования. Эффект поля.
3	14	2	Сильно легированные и аморфные полупроводники Глубокие примеси в полупроводниках. Многозарядные примесные центры. Механизмы образования связанных состояний на отталкивательных центрах. Сильно легированные и неупорядоченные полупроводники. Локализация Андерсона и переход Мотта. Хвосты плотности состояний и щель подвижности.
	15	2	Свойства поверхности. Поверхность и поверхностные таммовские состояния. Энергетические зоны поверхности. Заряд поверхностных состояний. Пиннинг уровня Ферми. Работа выхода
	16	2	Органические полупроводники. Сопряженные полимеры. Пайерлсовская неустойчивость. Допирование сопряженных полимеров. Солитоны и поляроны

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Кристаллическая структура твердых тел
	2	2	Обратная решетка. Дифракция рентгеновских лучей на кристалле.
	3,4	4	Метод сильно связанных электронов.
	5	2	2D материалы
	6	2	Функция распределения носителей заряда. Эффективная масса
2	7	2	Собственные полупроводники
	8,9	4	Уравнение электронейтральности.
	10	2	Неоднородные, неравновесные полупроводники
	11	2	Коллоквиум
	12, 13	4	Диффузионно-дрейфовая модель
	14	2	Генерация и рекомбинация носителей заряда
3	15	2	Локализованные электронные состояния.
	16	2	Сдача практикоориентированного задания

4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1–3	16	Работа с конспектом лекций. Чтение и разбор рекомендованной литературы.
	8	Изучение дополнительной тематической литературы и Интернет-ресурсов.
	18	Разбор решенных на семинарах задач. Решение тематических задач
	6	Подготовка к опросам
	12	Подготовка к коллоквиуму
	20	Выполнение практикоориентированного задания

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 1–3

1. Теоретический материал по тематике лекций и семинарских заданий
2. Методические указания по выполнению практикоориентированного задания
3. Список вопросов к коллоквиуму
4. Список учебной литературы

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников / М.: Лань, 2016 – 624 с.
2. Горбачевич А.А., Журавлев М.Н. Физика полупроводников. – М.: МИЭТ, 2017. - 136 с.
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. т. 1,2. М: Мир, 1979
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 2014.
5. Кардона Ю. П. Основы физики полупроводников //М.: Физматлит. – 2002. – С.560.
6. Бонч-Бруевич В. Л. Физика полупроводников // М.: Наука, 1990. - 685 с.
7. Бонч-Бруевич В. Л. Сборник задач по физике полупроводников / Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И. П., Карпенко И. В., Миронов А. Г. // М.: Наука, 1987. - 144 с.

Периодические издания

1. ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ = SEMICONDUCTORS / РАН, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе; Гл. ред. Р.А. Сурис. - СПб. : Наука, 1967 - . – URL: <http://journals.ioffe.ru/ftp/> (дата обращения: 11.11.2025). – Режим доступа: свободный.
2. УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК : Научный журнал / Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Редакция журнала УФН. - М. : РАН, 1918 - . - URL:<http://ufn.ru/> (дата обращения: 11.11.2025). – Режим доступа: свободный
3. 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: 11.11.2025). – Режим доступа: свободный
4. ПИСЬМА В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ = JETP Letters / Российская академия наук, Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН. - М. : ИКЦ Академкнига, 1965 - . – URL: <http://www.jetpletters.ac.ru/> (дата обращения: 11.11.2025). – Режим доступа: свободный
5. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS / American Institute of Physics. - USA : AIP, [б.г.]. – URL: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap> (дата обращения: 11.11.2025). – Режим доступа: по подписке МИЭТ.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. NSM Archive. Characteristics and Properties = Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства: Электронный архив / webmaster Алексей Толмачев // ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН : [сайт]. – Москва, 1998-2001. - URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html> (дата обращения: 11.11.2025).
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 11.11.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
3. Web of Science [v.5.35]: сайт. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 11.11.2025).
4. ФИПС: Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 11.11.2025)
5. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. - URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 11.11.2025)
6. WebCSD // The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) : [сайт]. - URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> (дата обращения: 11.11.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
7. APS Physics: [сайт] / American Physical Society Sites. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 11.11.2025). – Режим доступа: свободный.

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 преаудиторная работа с использованием внешнего или внутреннего ресурса) - аудиторная работа (семинар 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 специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Windows, Microsoft Office
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Windows, Microsoft Office, браузер

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ОПК-2.ФОЭ Способен учитывать специфику и особенности кристаллических полупроводников, базовых материалов современной электроники при формулировании задач профессиональной деятельности.

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

Посещение лекций и практических занятий обязательно.

Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся лектором по договорённости со студентами.

Цель лекций, семинаров – обучение базовым знаниям и умениям с частичным охватом материала повышенного уровня. 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 консультациях обсуждаются задачи повышенного уровня сложности, теоретический материал по теме. Безусловно, во время консультаций можно получить помощь и по всем вопросам базового уровня.

На практических занятиях, проводимых в диалоговом режиме, студенты получают специальные знания для закрепления предмета посредством разбора и решения модельных задач. 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 упрощенными моделями и схемами, опираться на известные физические законы.

12.2. Система контроля и оценивания

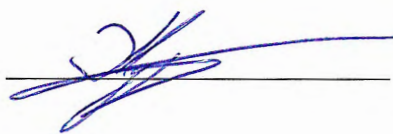
Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре и сдача экзамена.

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

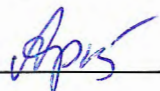
РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент каф. КФН, к. ф.-м. н.



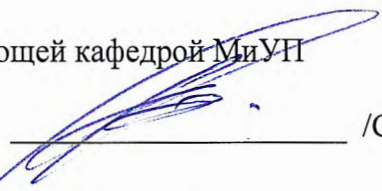
/ М.Н. Журавлёв /

Рабочая программа дисциплины «Физические основы электроники» по направлению подготовки 27.03.05 «Инноватика», направленности (профилю) «Инноватика и управление наукоемким производством» разработана в Институте ИнЭл и утверждена на заседании УС Института ИнЭл 12 ноября 2025 года, протокол № 3

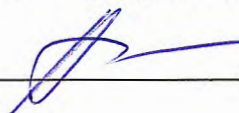
Зам. директора Института ИнЭл  /Е.А. Артамонова/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой МиУП

Заведующий кафедрой МиУП  /С.П. Олейник /

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. Филишова/