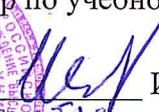


Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2025 15:11:45  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736478e95ca9511300

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  
«23» декабря 2020 г.  
М.П.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
«Кинетические процессы в полупроводниках»

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и наноэлектроника»

2020 г.

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК- 1** «Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники 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», А/02.6 «Определение основных статических и динамических характеристик стандартных ячеек библиотеки»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
<p>ПК-1.КПП «Способен строить простейшие физические и математические модели фундаментальных электрических, магнитных явлений в полупроводниковых средах, используемых при создании элементов и приборов наноэлектроники»</p>	<p>- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;</p> <p>- участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;</p>	<p><b>Знания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зонной теории полупроводников и низко-размерных полупроводниковых структур, кинетическое уравнение Больцмана;</li> <li>- вида интегралов столкновений в классическом и квантовом вариантах,</li> <li>- способов вычисления времени релаксации, механизмы рассеяния электронов и дырок на примесях и фонах, особенности физических свойств низко-размерных структур;</li> </ul> <p><b>Умения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- находить уровень Ферми в вырожденном и невырожденном полупроводниках, вычислять сечение рассеяния электрона в полупроводнике при разных механизмах взаимодействия, анализировать зависимость времени релаксации от температуры, вычислять постоянные Холла;</li> </ul>

		<b>Опыт деятельности:</b> -опыт вычисления кинетических параметров методами кинетических уравнений для различных физических моделей, описывающих кинетические процессы 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, Физика конденсированного состояния, Дифференциальные уравнения.

## 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	2	72	-	-	32	40	За

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Теория кинетического уравнения для электронов и дырок в полупроводниках.	-	-	10	14	Контроль решённых практико-ориентированных задач.
2. Исследование кинетических характеристик полупроводников методом кинетического уравнения.	-	-	14	14	Контроль решённых практико-ориентированных задач.
3. Методы нахождения туннельного электрического и спинового тока в барьерных задачах.	-	-	8	12	Контроль решённых практико-ориентированных задач.

##### 4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

##### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1-3	6	Основы статистического описания системы электронов и дырок в равновесном состоянии.
	4-5	4	Кинетическое уравнение и интеграл столкновения.
2	6-12	14	Решение кинетического уравнения в слабом электрическом и магнитном полях.
3	13-16	8	Кинетические эффекты, связанные с туннелированием электронов в барьерных задачах.

##### 4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	4	Работа с учебно-методическими рекомендациями для семинаров.
	10	Решение практико-ориентированных задач.
2	2	Работа с учебно-методическими рекомендациями для семинаров.
	12	Решение практико-ориентированных задач.
3	2	Работа с учебно-методическими рекомендациями для семинаров.
	10	Решение практико-ориентированных задач.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

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

#### Модуль 1

1. Методические указания для проведения практических занятий.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

#### Модуль 2

1. Методические указания для проведения практических занятий.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

#### Модуль 3

1. Методические указания для проведения практических занятий.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Литература:

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников : Учебник / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 400 с.
2. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики : Учеб. пособие / А. И. Ансельм. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2007. - 448 с.
3. Аплеснин С.С. Основы спинтроники: Учеб. пособие / С. С. Аплеснин. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2010. - 288 с.
4. Корнеев В.И. Учебное пособие по дисциплине "Физика низкоразмерных структур" / В. И. Корнеев, М. М. Симуни ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2011. - 108 с.
5. Горбачевич А.А. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по дисциплине "Физика конденсированного состояния" / А. А. Горбачевич ; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 32 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: 20.10.2020). – 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: 20.10.2020). – 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: 20.10.2020). – 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: 20.10.2020). – 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: 20.10.2020). – 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: 27.11.2020).

2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
3. Web of Science [v.5.35]: сайт. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 27.11.2020).
4. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 27.11.2020)
5. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. - URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 27.11.2020)
6. WebCSD // The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) : [сайт]. - URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
7. APS Physics: [сайт] / American Physical Society Sites. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 20.10.2020). – 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

<b>Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень программного обеспечения</b>
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional 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

ФОС по подкомпетенции ПК-1.КППП «Способен строить простейшие физические и математические модели фундаментальных электрических, магнитных явлений в полупроводниковых средах, используемых при создании элементов и приборов нанoeлектроники».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен 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 семинаров обязательно. Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся преподавателем по расписанию, заранее согласованному со студентами.

Цель семинаров – обучение базовым знаниям и умениям с частичным охватом материала повышенного уровня. Освоение дисциплины на повышенном уровне в значительной степени осуществляется студентом самостоятельно. Преподаватель предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему семинара, который проводился на неделе, предшествующей консультации. На консульта-

циях обсуждаются задачи повышенного уровня сложности, теоретический материал по теме. Безусловно, во время консультаций можно получить помощь и по всем вопросам базового уровня.

На семинарах, 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.

Контроль решения студентами практико-ориентированных задач проводится на семинарах. Студенты сдают для проверки решённые задачи, после проверки на консультациях возможна беседа по теме решённых задач с разбором ошибок.

### 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 100 баллов). Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИ-ОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/> .

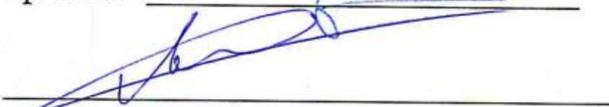
#### РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент каф. КФН, к. ф.-м. н.



/Корнеев В. И. /

Ст. преподаватель



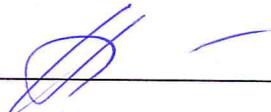
/Широков А. Е./

Рабочая программа дисциплины «Кинетические процессы в полупроводниках» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», направленности (профилю) «Квантовые приборы и наноэлектроника» разработана на кафедре квантовой физики и наноэлектроники (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 /