

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 27.06.2025 13:43:36
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
«04» 12 2024 г.
М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«Физические основы нанотехнологий»

Направление подготовки – 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника»
Направленность (профиль) – «Элементная база микроэлектроники»

2024 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК- 1 «Способен формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.037 Специалист по разработке технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники

Обобщенная трудовая функция: Разработка концепции технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов.

Трудовые функции: Е/02.7 «Разработка технического задания на выбор полупроводниковых структур и вспомогательных материалов для реализации приборов с заданными параметрами»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1.ФОНТ «Способен формулировать цели и задачи научных исследований в области нанoeлектроники с учётом особенностей развития нанотехнологий, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы поставленных перед специалистом по нанoeлектронике задач»	<ul style="list-style-type: none">- сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи;- использование физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем;	<p>Знания:</p> <ul style="list-style-type: none">- технологических процессов, используемых при создании современных микронаноструктур; <p>Умения:</p> <ul style="list-style-type: none">- объяснять свойства квантовых объектов и предсказывать их поведение в определённых условиях; <p>Опыт деятельности:</p> <ul style="list-style-type: none">- опыт решения практических задач на выявление причин определённого поведения квантовых объектов как элементов электронных приборов;

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: Квантовая механика, Физические основы электроники, Физика конденсированного состояния, Твердотельная электроника, Нанoeлектроника, Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоём- кость (ЗЕ)	Общая трудоём- кость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная ат- тестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
2	3	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. Свойства наноструктур.	-	-	8	10	Опрос №1
					Выполнение и кон- троль индивидуаль- ного практического задания
2. Способы создания и исследования нанострук- тур.	-	-	12	20	Опрос №2
					Выполнение и кон- троль индивидуаль- ного практического задания
3. Нанотехнологии для нейроморфных вычисле- ний	-	-	12	10	Опрос №3
					Выполнение и кон- троль индивидуаль- ного практического задания

4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практиче- ского занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Квантово-размерные эффекты: основные требования по созданию объектов нанoeлектроники и нанофотоники-представление о реализации квантово-размерных эффектов, оценка предельных геометрических размеров элементов, реализующих эффекты размерного квантования (квантовые точки, квантовые проволоки, квантовые ямы).
	2	2	Пороговые размерные явления: физические эффекты, возникающие при переходе от объемных материалов к квантово-размерным структурам, изменение механических свойств, изменение спектральных характеристик поглощения и люминесценции; поверхностные состояния и пассивация.
	3-4	4	Квантовый транспорт в наноразмерных системах: размерные эффекты в явлениях переноса, длина когерентности, квантование проводимости; резонансное туннелирование, кулоновская блокада; спин-зависимый транспорт, магнетосопротивление; термоэлектрические явления в низкоразмерных системах; декогеренция и квантовые шумы; масштабирование, гибридные системы, новые материалы; кремниевые FinFET и нанопроволочные транзисторы, наноустройства на основе 2D-материалов (графен, MoS ₂ , h-BN) и ван-дер-ваальсовых гетероструктур.
2	5	2	Нанокристаллические материалы и их применение: способы формирования нанокристаллов: синтез нанокристаллов из растворов, ионный синтез нанокристаллов в инородных матрицах, ростовое формирование наноструктур (выращивание нанопроволок, нанотрубок).
	6	2	Нанопористые материалы и их применение: создание наноструктур на основе пористых материалов: пористый кремний, пористый оксид алюминия, оксид титана.
	7	2	Ионный синтез: ионная имплантация и ионный синтез, наноразмерная модификация поверхностей монокристаллов с помощью ионной бомбардировки.
	8	2	Пучковые и другие технологии микро- и нанoeлектроники: молекулярно-лучевая эпитаксия (MBE), методы CVD, принципиальные ограничения получения структур с проектными нормами меньше 1 мкм, пределы применимости методов рентгеновской, электронной и ионной лито-

			графии.
	9	2	Метрологический контроль нанообъектов: методы контроля наноструктур по составу, размерам, степени упорядочения, требования к контрольно-измерительным методикам по чувствительности, пространственному разрешению, возможности проведения рутинного экспресс-контроля.
	10	2	Самоорганизация и самоформирование: самоорганизация как наиболее перспективный путь создания наноструктур; самоорганизация в кристаллах с дефектами, стимулированные фазовые переходы; применение методов органической химии, молекулярной биологии и других нетрадиционных методов создания наноструктур.
3	11	2	Мемристивные системы и резистивная память в нейроморфных вычислениях Физические основы мемристивных наноструктур, механизмы ионной миграции и фазовых переходов в оксидных материалах и халькогенидах; их роль в реализации резистивной памяти (ReRAM) и искусственных синапсов; динамика переключения сопротивления; энергоэффективность и пределы миниатюризации устройств.
	12-13	4	Спинтронные устройства и материалы с фазовыми переходами Спин-зависимые транспортные явления в магнитных туннельных переходах; их применение для имитации нейрональной активности; материалы с управляемыми фазовыми переходами (GeSbTe, VO ₂), их гистерезисные свойства и использование для воспроизведения синаптической пластичности в условиях изменяемой проводимости.
	14-16	4	Технологии нанофотоники: взаимодействие света с наноматериалами, поверхностные плазмон-поляритоны, наноантенны и субволновая оптика; световоды, принцип оптической связи, плазмонные волноводы, фотонные кристаллы; акустооптические и электрооптические модуляторы; оптоэлектронные модуляторы на основе 2D-материалов
	16	2	Принципы нейроморфной фотоники: оптические аналоги нейронов и синапсов; фотонные нейроморфные сети, архитектуры на основе интерферометров, методы оптического обучения, интеграция фотонных и квантовых нейросетей, использование запутанных состояний.

4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	2	Работа с конспектом семинаров.
	3	Чтение и разбор рекомендованной литературы. Изучение дополнительной тематической литературы и интернет-ресурсов.
	15	Выполнение индивидуальных практических заданий: написание рефератов по тематике практических занятий модуля 1 с использованием профессиональных баз данных научных статей.
2	6	Работа с конспектом семинаров.
	2	Чтение и разбор рекомендованной литературы. Изучение дополнительной тематической литературы и интернет-ресурсов.
	12	Выполнение индивидуальных практических заданий: написание рефератов по тематике практических занятий модуля 2 с использованием профессиональных баз данных научных статей.

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 семинаров.
2. Методические указания студентам.
3. Список вопросов к опросу №1.
4. Список учебной литературы.

Модуль 2

1. Методические указания для проведения семинаров.
2. Методические указания студентам.
3. Список вопросов к опросу №2.
4. Список учебной литературы.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература:

1. Герасименко Н.Н. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по дисциплине "Перспективные направления наноэлектроники" / Н.Н. Гера-

- сименко, Д.И. Смирнов; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2011. - 72 с.
2. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: Учеб. пособие для вузов / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. - Новосибирск : НГТУ, 2004. - 496 с.
 3. Кирчанов В. С. Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики : учебное пособие / В. С. Кирчанов. — 2-е изд., испр. и доп. — Пермь : ПНИПУ, 2022 – 364 с. URL:<https://e.lanbook.com/book/328871>
 4. Кларк Э.Р. Микроскопические методы исследования материалов / Э.Р. Кларк, К.Н. Эберхардт, Москва: Техносфера, 2007.-376 с.
 5. Нанотехнологии в электронике, под. ред. Ю.А. Чаплыгина, Москва: Техносфера Техносфера, 2005.-448 с.
 6. Щука А. А. Наноэлектроника: учебник/ Под ред. А. С. Сигова. – Москва: Юрайт, 2025. – 297 с. - . URL:<https://urait.ru/bcode/561199>

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: 01.09.2020).
2. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 01.09.2020)

3. WebCSD // The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) : [сайт]. - URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> (дата обращения: 01.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

4. APS Physics: [сайт] / American Physical Society Sites. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 01.09.2020). – Режим доступа: свободный.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

Применяется образовательная технология «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 внутреннего ресурса в ОРИОКС) - 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 учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
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.ФОНТ «Способен формулировать цели и задачи научных исследований в области нанoeлектроники с учётом особенностей развития нанотехнологий, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы поставленных перед специалистом по нанoeлектронике задач».

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 договорённости 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, ведущий семинары, предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему практического занятия, которое проводилось 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 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 ее решения моделирует научно-исследовательскую работу. Общая характеристика семинар-дискуссии. Основное содержание обучения на семинаре-дискуссии: совместное решение учащимися эвристических учебных задач. Задача педагога - обеспечить активное включение студентов в поисковую учебно-познавательную деятельность, организованную на основе внутренней мотивации. Учебная деятельность организуется как деятельность коллективно-распределенная, развернутая в атмосфере коллективного размышления, в ситуации дискуссии и совместных поисков, когда студенты обсуждают различные варианты решения задачи. Студентам рекомендуется осуществлять поиск в научной периодике дополнительной информации по теме семинаров с последующим обсуждением результатов поиска с преподавателем.

Контроль выполнения студентами индивидуальных практических заданий (рефератов) проводится на практических занятиях. Студенты выступают с докладом на семинаре, излагая содержание написанного реферата, происходит обсуждение изложенной информации в формате научной дискуссии.

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), сдача зачёта (40 баллов). Структура и график контрольных мероприятий доступны в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/> .

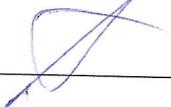
РАЗРАБОТЧИКИ:

Проф. ИнЭл, д. ф.-м. н.  /Сибатов Р.Т./

Ст. преподаватель ИнЭл  / А. Е. Широков /

Рабочая программа дисциплины «Физические основы нанотехнологий» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника», направленности (профилю) «Элементная база микроэлектроники» разработана в институте ИнЭл и утверждена на заседании ученого совета института ИнЭл 03 декабря 2024 года, протокол № 6

Директор института ИнЭл


_____ /В. В. Лосев/

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 /