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» декабря 2024 г.
М. П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«Приборы и интегральные схемы на основе арсенида галлия»

Направление подготовки – 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
Направленность (профиль) – «Элементная база наноэлектроники»

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат 00FCD5F6E07DC83F809D56CE1D350ACCD1
Владелец ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ"
Действителен с 09.04.2025 по 03.07.2026

2024 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК- 2 «Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.104 Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

Обобщенная трудовая функция: Руководство подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

Трудовые функции: D/01.7 Организация и контроль процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-2.GaAs Способен экспериментально определять характеристики современных СВЧ приборов	- разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов; - использование физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем; - подготовка научно-технических отчетов, обзоров, рефератов, публикаций по результатам выполненных исследований, подготовка и представление докладов на научные конференции и семинары;	***Знания:*** – основных свойств приборов на основе эпитаксиальных структур и гетероструктур; – основных функциональных элементов арсенид-галлиевых интегральных схем; ***Умения***: – проводить численные оценки параметров материалов и приборов наноэлектроники, созданных по GaAs технологии; ***Опыт деятельности***: – опыт решения реальных задач, встречающихся в практической деятельности специалиста по наноэлектронике;

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, Материалы электронной техники, Твердотельная электроника, Схемотехника, Наноэлектроника.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Практические занятия (часы)		
2	3	5	180	16	16	16	96	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Методы получения активных слоев приборов ИС на арсениде галлия.	8	-	8	32	Опрос № 1
2. Технологические маршруты изготовления приборов.	8	-	8	32	Опрос № 2 Контроль выполнения практического задания
3. Лабораторный практикум.	-	16	-	32	Выполнение и защита лабораторных работ

					Контроль выполнения индивидуальных практических заданий к лабораторным работам

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объём занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Методы получения активных слоев приборов ИС на арсениде галлия. Выращивание слитков.
	2	2	Полуизолирующий арсенид галлия. Электрофизические свойства эпитаксиальных структур и гетероструктур, полученных различными методами.
	3	2	Приборы и интегральные схемы на эпитаксиальных структурах арсенида галлия. Транзисторы с затвором Шоттки на арсениде галлия.
	4	2	Транзисторы на структурах с квантовыми ямами. Цифровые схемы. Аналоговые СВЧ ИС. Тенденция развития приборов на основе гетероструктур.
2	5	2	Технологические маршруты изготовления приборов и интегральных схем на арсениде галлия. Омические контакты к арсениду галлия.
	6	2	Изоляция объемов активных элементов ИС. Диэлектрики на арсениде галлия.
	7	2	Туннельно-резонансные диоды и приборы на их основе. Технологический маршрут изготовления туннельно-резонансных диодов.
	8	2	Технологический маршрут изготовления монолитно-интегральных ИС, включающий ПТШ, РТД и диоды Шоттки, и его особенности. Методы создания транзисторов с нанометровым каналом.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объём занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Методы получения активных слоев приборов ИС на арсениде галлия, выращивание слитков.
	2	2	Полуизолирующий арсенид галлия, электрофизические свойства эпитаксиальных структур и гетероструктур, полученных различными методами.
	3	2	Приборы и интегральные схемы на эпитаксиальных структурах арсенида галлия, транзисторы с затвором Шоттки на арсениде галлия, транзисторы на структурах с квантовыми ямами.
	4	2	Цифровые схемы, аналоговые СВЧ ИС, тенденция развития приборов на основе гетероструктур.
2	5	2	Технологические маршруты изготовления приборов и интегральных схем на арсениде галлия, омические контакты к арсениду галлия.
	6	2	Изоляция объемов активных элементов ИС, диэлектрики на арсениде галлия.
	7	2	Туннельно-резонансные диоды и приборы на их основе, технологический маршрут изготовления туннельно-резонансных диодов.
	8	2	Технологический маршрут изготовления монолитно-интегральных ИС, включающий ПТШ, РТД и диоды Шоттки, и его особенности, методы создания транзисторов с нанометровым каналом.

4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
3	1	4	Транзисторы с затвором Шоттки на эпитаксиальных и гетероструктурах арсенида галлия.
	2	4	Технологическое оборудование для изготовления электронных приборов на основе арсенид-галлиевых гетероструктур.
	3	4	Определение времени задержки на переключение инверторов с

			помощью кольцевых генераторов.
	4	4	Исследование вольтамперных характеристик туннельно-резонансных диодов.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	8	Работа с конспектом лекций.
	16	Чтение и разбор рекомендованной литературы. Изучение дополнительной тематической литературы и интернет-ресурсов, поиск информации по теме лекций в профессиональных базах данных научных статей.
	8	Подготовка к опросу №1.
2	8	Работа с конспектом лекций.
	6	Поиск информации по теме лекций в профессиональных базах данных научных статей.
	16	Выполнение практического задания: решение практических задач.
	2	Подготовка к опросу №2.
3	26	Подготовка к выполнению лабораторных работ: вывод формул из описания лабораторной работы, знакомство в профессиональных базах данных с результатами научных разработок по темам, смежным с тематикой лабораторной работы.
	3	Обработка экспериментальных результатов. Подготовка ответов на поставленные преподавателем вопросы.
	3	Написание отчёта о проделанной работе. Подготовка к защите лабораторной работы.

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. Теоретический материал по тематике лекций и семинарских заданий.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

Модуль 2

1. Теоретический материал по тематике лекций и семинарских заданий.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

Модуль 3 «Лабораторный практикум»

1. Описания лабораторных работ.
2. Список контрольных вопросов.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература:

1. Наноэлектроника : теория и практика: учебник / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина, А.Л. Данилюк. - 4-е изд., электронное. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 369 с. - (Учебник для высшей школы). - URL: https://e.lanbook.com/book/84103 (дата обращения: 15.12.2020). - ISBN 978-5-9963-2943-4.
2. Щука А.А. Наноэлектроника: Учеб. пособие / А.А. Щука; Под ред. А.С. Сигова. - 3-е изд. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 344 с. - (Нанотехнологии). - URL: https://e.lanbook.com/book/84102 (дата обращения: 16.11.2020).

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. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php (дата обращения: 27.11.2020)

3. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. - URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html (дата обращения: 27.11.2020)

4. 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

5. 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.

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 Crome); Acrobat reader DC
Лаборатория физики конденсированного состояния (ауд. 4347)	Высокочастотный анализатор полупроводников Генератор импульсный Agilent 33220A Комплект из 6-ти интерфейсных устройств PCI-GPIB NI-488.2 Осциллограф 2 канальный 100МГц TDS 2012B Вольтметр Agilent 34405A Вольтметр Agilent 34411A Вольтметр универсальный В7-30 Измеритель RCL Измеритель добротности ВМ-560 Измеритель цифровой Е7-12 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 E3645A	Академические лицензии на ПО по проекту Azure Dev Tools for Teaching (Microsoft)

	Источник питания Agilent 6645A	
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 Crome); Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-2.GaAs «Способен экспериментально определять характеристики современных СВЧ приборов».

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 лекций, семинаров и лабораторных работ обязательно.

Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся лектором по расписанию, заранее согласованному со студентами.

Цель лекций – 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.

На лабораторных работах студенты знакомятся с технологическими процессами создания GaAs структур, исследуют вольтамперные характеристики резонансно-туннельных диодов, определяют время задержки на переключение инверторов с помощью кольцевых генераторов приборов. При выполнении лабораторных работ студенты знакомятся с правилами техники безопасности в лаборатории, технологическим оборудованием в лабора-

ториях, с технологическими операциями, которые можно выполнить на этом оборудовании, с особенностями работы на этом оборудовании.

В процессе подготовки к лабораторной работе каждый студент пишет конспект, содержащий необходимые теоретические сведения из описания лабораторной работы с выводом всех формул, приводит сведения о научных разработках на аналогичном оборудовании в мировых лабораториях, пользуясь для этого поиском по ключевым словам в профессиональных базах данных научных статей. Лабораторные работы проводятся под руководством опытного сотрудника лаборатории, который управляет действиями студентов, комментируя при этом каждое действие с оборудованием. На защите лабораторных работ студент предъявляет преподавателю конспект лабораторной работы с обработанными результатами работы и отвечает на теоретические вопросы. С учётом качества ответов на теоретические вопросы, а также результатов, индивидуального практического задания к лабораторной работе студенту выставляется оценка.

После проведения работы студенты проводят обработку полученных результатов и их анализ, на основе которого формулируются выводы. Затем осуществляется защита выполненной работы (индивидуально или в составе группы) и проставляется зачет по лабораторной работе. Защита включает предоставление отчета по работе, оформленного в соответствии с требованиями, изложенными в описании к работе, обоснование полученных результатов и сделанных выводов, а также ответы на контрольные вопросы.

Лабораторные работы проводятся в интерактивном режиме, в диалоге с преподавателем с разбором конкретных ситуаций в процессе выполнения исследований и при защите полученных результатов.

Контроль выполнения студентами практических заданий проводится на семинарах.

Обязательным условием допуска к экзамену является успешная сдача всех лабораторных работ.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (максимально 60 баллов), активность в семестре (максимально 20 баллов) и сдача экзамена (максимально 20 баллов). Структура и сроки сдачи контрольных мероприятий доступны в журнале успеваемости в ОРИОКС, http://orioks.miet.ru/

РАЗРАБОТЧИКИ:

Ст. преподаватель института ИнЭл _____ /А. В. Неженцев/

Ст. преподаватель института ИнЭл _____ / А. Е. Широков /

Рабочая программа дисциплины «Приборы и интегральные схемы на основе арсенида галлия» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», направленности (профилю) «Элементная база наноэлектроники» 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 /