

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 02.08.2023 12:37:01

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Technology and Materials of Quantum Electronics / Технологии и материалы квантовой электроники

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 2

аудиторные занятия

36

самостоятельная работа

81

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	18	18	18	18
Практические	18	18	18	18
Итого ауд.	36	36	36	36
Контактная работа	36	36	36	36
Сам. работа	81	81	81	81
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

к.ф.-.м.н., доцент, Рабинович Олег Игоревич

Рабочая программа

Technology and Materials of Quantum Electronics / Технологии и материалы квантовой электроники

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02_МФ3-22-3А.plx Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра технологии материалов электроники

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Мухин Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Целью освоения дисциплины является формирование у студентов компетенций в соответствии с учебным планом, применительно к изучению и формированию знаний в области полупроводниковых наногетероструктур и приборов на их основе, принципов их функционирования и применения.
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Management of Quality / Менеджмент качества	
2.1.2	Modern Quantum Physics of Solids part 1 / Квантовая физика твердого тела, часть 1	
2.1.3	Project Management / Управление проектами	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Modern methods of atomistic simulation / Современные методы атомистического моделирования	
2.2.2	Physics of Low Dimensional Systems / Физика низкоразмерных систем	
2.2.3	Сверхпроводящие цепи и кубиты	
2.2.4	Master's Thesis / Преддипломная практика	
2.2.5	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ**

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Электронные системы в низкоразмерных тонких плёнках и в многокомпонентных наногетероструктурах неорганических полупроводников							
1.1	Общие сведения о полупроводниковых наноразмерных структурах. Их значение для прикладной науки, микро- и наноэлектроники. /Лек/	2	4		Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.1 Л2.1Л3.4 Э1	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
1.2	Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям /Ср/	2	12		Л1.1 Л1.2Л2.1Л2.1 Э2 Э3	Методические указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
1.3	Обзор физических свойств объёмных трёхмерных (3D) полупроводников – зонные энергетические диаграммы электронов, плотности состояний, легирование, статистика носителей заряда /Пр/	2	2		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.4 Э1	Методические указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		

1.4	Подготовка к написанию контрольной работы /Ср/	2	5		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э3	Методически е указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
1.5	Написание контрольной работы /Пр/	2	2		Л1.1 Л1.2Л2.1Л2. 1 Э2	Методически е указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		P1
1.6	Размерное квантование . Двумерные, одномерные и нульмерные системы. /Лек/	2	3		Л1.1 Л1.2Л3.4Л2. 1 Э1	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
1.7	Проработка лекционного материала для подготовки к занятиям /Ср/	2	8		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э3	Методически е указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
	Раздел 2. Технологии получения низкоразмерных структур							
2.1	Современные технологии получения полупроводниковых тонких пленок и наногетероструктур - МВЕ и МОСVD. Самоорганизованный рост по механизму Странского-Крастанова. Механизмы гетероэпитаксиального роста: Франка-ван-дер-Верме и Фольмера-Вебера /Лек/	2	3		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э1	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
2.2	Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям /Ср/	2	15		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э3	Методически е указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
2.3	Подготовка к написанию контрольной работы /Ср/	2	10		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э2	Методически е указания по решения задач на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		

2.4	Написание контрольной работы /Пр/	2	4		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э2	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		Р2
	Раздел 3. Приборы микро- и нанозлектроники на основе низкоразмерных структур неорганических полупроводников							
3.1	Современные типы и свойства светоизлучающих диодов и солнечных элементов /Лек/	2	5		Л1.1 Л1.2Л2.1Л2. 1 Э1	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
3.2	Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям /Ср/	2	10		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э2	Методические указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
3.3	Подготовка к написанию контрольной работы /Ср/	2	11		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э3	Методические указания по решения задач на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
3.4	Написание контрольной работы /Пр/	2	2		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э3	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		Р3
3.5	Силовые полупроводниковые устройства /Лек/	2	3		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э1	Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО.		
3.6	Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям /Ср/	2	10		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э2	Методические указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		
3.7	Выполнение домашнего задания /Пр/	2	8		Л1.1 Л1.2Л2.1Л3. 4 Э3	Методические указания на электронном и бумажном носителе (присутствуют на кафедре)		Р4

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки			
Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Экзамен		<p>Hydrogen similar impurities in quantum wells Exciton states in quantum wells Peculiarities of scattering methods in 2D-structures. Conditions for production of “good” heterostructures Heteropairs chemical analogs Heteropairs lattice constant matching Molecular beam epitaxy (MBE) The control of layer growth in the MBE equipment MOCVD method Nanolithography The growth of quantum point set/array Transistors with high electron mobility based on two-dimensional electron gas Emitting diodes based on quantum wells and points. Light emitting diodes with AlGaInP DH. Light emitting diodes with AlGaInN DH Heterostructures peculiarities based on QW and QD DH lasers based on QW and QD Surface-emitting injection microlasers based on QD Optical light modulators based on quantum sized Stark effect Spectral characteristics and photosensitive of photodetector based on QW Effect of resonance tunneling and devices based on them. The resonance-tunneling diode. One-electron transistor</p>
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Контрольная работа 1		<p>What are the basic criteria for the progressiveness of micro- and nanotechnology? What are the fundamental differences between micro- and nanoelectronics? In which case, to calculate the energy loss of an ion in a collision with atoms of a solid, it is necessary to use the model of elastic collisions? What is the difference between ion sputtering of amorphous and crystalline materials? Who was the first to offer LED What is the principle of operation of a field-effect transistor with a p-n junction and an MP transistor? What is the cutoff voltage of the field effect transistor? What is the mechanism of saturation of the drain current? What are the static parameters of field-effect transistors?</p>
P2	Контрольная работа 2		<p>What is the interaction of electrons peculiarity with a solid? Can the interaction of radiation with a solid lead to a change in the characteristics of the processed materials and why? Does the mechanism for the formation of micro- and nanoscale layers depend on the atomic structure of the substrate surface? What are the elementary stages of crystallization processes? What is the difference between molecular beam epitaxy and epitaxy during classical thermal evaporation of a substance? The purpose and construction of an equivalent circuit of a field effect transistor with a control pn junction. How can I increase the steepness of the transfer characteristic? What is the dependence of the steepness of the transfer characteristic on the voltage at the drain and the reasons for this dependence? Comparative characteristics of field and bipolar transistors. How is the inversion mode implemented in the TIR structure?</p>

P3	Контрольная работа 3		<p>In which case, to calculate the energy loss of an ion in a collision with atoms of a solid, it is necessary to use the model of inelastic collisions?</p> <p>What the main parameters of the ion flux that determine the rate of atomization of a solid?</p> <p>What the main parameters of the ion flux does the ion mean free path depend on?</p> <p>Does the ion mean free path influence on the structural state of the material being processed?</p> <p>For what reason do primary defects occur in the processed material during ion bombardment?</p> <p>How does the surface charge depend on the potential on the surface?</p> <p>What effect does the difference in the work function and the charge of the surface states of the FMS have on the form of the capacitance – voltage characteristic?</p> <p>Draw an equivalent diagram of the MIS structure without and taking into account the surface states.</p> <p>What is the high-frequency characteristic of an MIS structure?</p>
P4	Домашнее задание		<p>Classical and quantum size effects</p> <p>The effects of dimensional quantization and conditions for their observations</p> <p>Quantum wells, their types and peculiarities</p> <p>Electron in the rectangle well of infinite and finite depth</p> <p>Dimensional quantization in the potential well of infinite and finite depth</p> <p>Electronic state in coupled wells</p> <p>Coupled wells and super lattices</p> <p>Electric field influence on electronic spectrum of single quantum well</p> <p>Electric field influence on electronic spectrum of double quantum well.</p> <p>Resonance tunneling.</p> <p>Structures with two-dimensional electron gas</p> <p>One- and null dimensional systems: examples and peculiarities of their electron spectrum</p> <p>Two-dimensional electron gas in Metal-Insulator-Semiconductor</p> <p>Two-dimensional electron gas on the interface of “single” heterostructure</p> <p>Quantum wells based on double heterostructure (DH)</p> <p>δ-doped layers and n-i-p-i structure.</p> <p>The density of electron states in two-dimensional systems</p> <p>The density of electron states in one- and null-dimensional systems</p> <p>The density of electron states in quantum wells, wires and dots</p> <p>Energy spectrum of super lattices</p> <p>Impurity states in the quantum wells</p>

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

В данном курсе предусмотрен Экзамен, как финальное испытание.

Билет состоит из 2-х вопросов.

Вопросы для оценки располагаются в разделе для самоподготовки.

Первый вопрос - теоретический и типовые варианты представлены в разделе для самоподготовки.

Второй вопрос - расчетно-графический и типовые варианты представлены в разделе для самоподготовки.

Вариант билета прикреплен в разделе Приложения.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По дисциплине для получения экзамена студент должен полностью выполнить учебный план: написать все контрольные работы, выполнить и защитить Реферат.

Оценки за контрольную работу выставляются по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно решил задачи и полно ответил на все теоретические вопросы;
- б) «хорошо» – студент решил задачи и недостаточно полно ответил на все теоретические вопросы;
- в) «удовлетворительно» – студент неправильно решил задачи, неполно ответил на теоретические вопросы;
- г) «неудовлетворительно» – студент не решил задачу, не ответил на теоретические вопросы.

Защита ДЗ происходит в электронной среде Canvas. Оценка выставляется по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно провел анализ информации, полно представил работу, сделал правильные выводы, исчерпывающе ответил на вопросы при защите работы;
- б) «хорошо» – студент правильно или с небольшими ошибками представил информацию, сделал правильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;;
- в) «удовлетворительно» – студент провел необходимые расчеты с незначительными ошибками, представил неверный анализ, сделал неполные или неправильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;
- г) «неудовлетворительно» – студент провел представил анализ с грубыми ошибками, сделал неправильные выводы, не ответил или ответил неверно на вопросы при защите работы;.

Оценка за экзамен формируется как среднеарифметическое за все контрольные работы и ДЗ

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Шалимова К. В.	Физика полупроводников: учебник для вузов по спец. 'Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Энергия, 1976
Л1.2	Ковалев А. Н., Рабинович О. И., Тимошина М. И.	Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций: учебник	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2015

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Сушков В. П., Кузнецов Г. Д., Рабинович О. И.	Микроэлектроника. Компьютерное моделирование параметров полупроводниковых компонентов микроэлектроники: учеб.-метод. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2005
Л3.2	Рабинович О. И., Крутогин Д. Г., Евсеев В. А.	Основы технологии электронной компонентной базы. Моделирование технологических процессов получения тонкопленочных материалов: учебно-метод. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2012
Л3.3	Рабинович О. И., Крутогин Д. Г., Маренкин С. Ф., Подгорная С. В.	Основы технологии электронной компонентной базы: учебно-метод. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2015
Л3.4	Рабинович О. И., Крутогин Д. Г., Подгорная С. В., Маренкин С. Ф.	Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологий: учебно-метод. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2015

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Курс в LMS CANVAS	https://lms.misis.ru/enroll/TE7NET
----	-------------------	---

Э2	Springer	https://link.springer.com/
Э3	Elsevier	https://www.sciencedirect.com/
6.3 Перечень программного обеспечения		
П.1	ANSYS Academic Research CFD	
П.2	Microsoft Office	
П.3	LMS Canvas	
6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных		
И.1	Научные журналы и статьи	
И.2	http://elibrary.ru/	
И.3	https://link.springer.com/	
И.4	Web of Science https://apps.webofknowledge.com	
И.5	Scopus https://www.scopus.com/	
И.6	Elsevier https://www.sciencedirect.com/	

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Компьютерный класс	Учебная аудитория для проведения практических занятий:	экран, проектор, доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест, персональные компьютеры, доступ к ЭИОС университета LMS Canvas, лицензионные программы MS Teams, MS Office

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебная литература по курсу на английском языке для использования в учебном процессе находится на кафедре. По дисциплине для получения экзамена студент должен полностью выполнить учебный план: написать все контрольные работы, выполнить и защитить Реферат.

Оценки за контрольную работу выставляются по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно решил задачи и полно ответил на все теоретические вопросы;
- б) «хорошо» – студент решил задачи и недостаточно полно ответил на все теоретические вопросы;
- в) «удовлетворительно» – студент неправильно решил задачи, неполно ответил на теоретические вопросы;
- г) «неудовлетворительно» – студент не решил задачу, не ответил на теоретические вопросы.

Защита Реферата происходит в электронной среде Canvas. Оценка выставляется по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно провел анализ информации, полно представил работу, сделал правильные выводы, исчерпывающе ответил на вопросы при защите работы;
- б) «хорошо» – студент правильно или с небольшими ошибками представил информацию, сделал правильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;;
- в) «удовлетворительно» – студент провел необходимые расчеты с незначительными ошибками, представил неверный анализ, сделал неполные или неправильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;
- г) «неудовлетворительно» – студент провел представил анализ с грубыми ошибками, сделал неправильные выводы, не ответил или ответил неверно на вопросы при защите работы;.

Оценка за экзамен формируется как среднеарифметическое за все контрольные работы и Реферата