

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:23

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Квантоворазмерные структуры в наноэлектронике

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 48

самостоятельная работа 96

Формы контроля в семестрах:  
зачет с оценкой 8

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя 12			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	24	24	24	24
Лабораторные	12	12	12	12
Практические	12	12	12	12
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48	48	48	48
Сам. работа	96	96	96	96
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*к.ф.-.м.н., доц., Кобелева С.П.*

Рабочая программа

**Квантоворазмерные структуры в наноэлектронике**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра ШЭ и ФШ**

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения С. И. Диденко

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Целью освоения дисциплины "Квантово-размерные структуры в нанoeлектронике" является освоение знаний о современном состоянии теории нанoeлектронных приборов и получение навыков проектирования и выбора технологии наноразмерных структур
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.08
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.2	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.3	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.4	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.5	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.6	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.7	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.8	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.9	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.10	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.11	Приемники оптического излучения	
2.1.12	Физика импульсного отжига	
2.1.13	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.14	Физические основы электроники	
2.1.15	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.16	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.17	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.18	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.19	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.20	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.21	Физика конденсированного состояния	
2.1.22	Физика магнитных явлений	
2.1.23	Безопасность жизнедеятельности	
2.1.24	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.25	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.26	Статистическая физика	
2.1.27	Электроника	
2.1.28	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.29	Методы математической физики	
2.1.30	Практическая кристаллография	
2.1.31	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.32	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.33	Физика	
2.1.34	Физическая химия	
2.1.35	Математика	
2.1.36	Органическая химия	
2.1.37	Химия	
2.1.38	Инженерная и компьютерная графика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

**ОПК-2:** Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области

<b>Знать:</b>
ОПК-2-31 Зонную теорию кристаллических твердых тел
ОПК-2-32 Влияние квантово-размерного эффекта на зонную структуру кристаллических твердых тел.
<b>ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники</b>
<b>Знать:</b>
ПК-3-31 Особенности физических свойств оптоэлектронных приборов на квантово-размерных структурах
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Знать:</b>
УК-2-31 Свойства одномерного и двумерного электронного газа
<b>ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-3-У1 Измерять параметры электронных приборов на квантово-размерных структурах
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 Рассчитывать параметры дискретного электронного спектра в квантовых ямах
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Уметь:</b>
УК-2-У1 Анализировать литературные данные для подбора материалов квантово-размерных структур
<b>ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-3-В1 методами компьютерного моделирования параметров пп структур
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Владеть:</b>
УК-2-В1 Навыками оптимизации технологических приемов получения квантово-размерных структур
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 Навыками измерения параметров оптоэлектронных приборов на основе квантовых ям

#### 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
	<b>Раздел 1. Квантово-размерный эффект в зонной структуре кристаллов</b>							
1.1	Квантово-размерный эффект в зонной структуре кристаллов /Лек/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-31	Л1.1 Л1.1Л2.2 Э1		КМ1	Р1
1.2	Расчет параметров квантово-размерных структур /Пр/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-У1	Л2.2Л1.1Л1.1 1 Э1		КМ1	Р1

1.3	Подготовка к зачету /Ср/	8	16	ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1	Л1.1Л1.1Л2. 2 Э1 Э2		КМ1,К М2,КМ 3	Р3,Р1,Р 6,Р7
<b>Раздел 2. ДГС и их использование для создания СИД и полупроводниковых инжекционных лазеров</b>								
2.1	Энергетические диаграммы гетероструктур /Лек/	8	2	УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э2		КМ1	Р3,Р1,Р 2,Р5
2.2	Измерение параметров гетероструктур /Лаб/	8	4	ОПК-2-31 ПК-3-У1	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э2		КМ2	Р2
2.3	Подготовка к зачету /Ср/	8	12	УК-2-31 УК-2-В1 ОПК-2-32 ПК-3-31	Л1.1Л1.1Л2. 2 Э1 Э2		КМ1,К М3	Р1
<b>Раздел 3. Приборы на основе двумерного электронного газа</b>								
3.1	Транзисторы на основе двумерного электронного газа (НЕМТ) /Лек/	8	2	УК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-31	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э2		КМ2	Р3,Р4
3.2	расчет параметров двумерного электронного газа в структурах GaAs/AlGaAs /Пр/	8	2	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-3-В1	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э1		КМ1,К М2	Р3,Р4
3.3	Свойства двумерного электронного газа /Лек/	8	4	ОПК-2-31 ОПК-2-32	Л1.1Л2.2Л1. 1 Э1		КМ3	Р3
3.4	Измерение вольт-амперных характеристик НЕМТ-транзисторов /Лаб/	8	4	УК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.2Л1. 1 Э1		КМ2	Р4
3.5	Подготовка к зачету /Ср/	8	12	УК-2-31 УК-2-У1 ПК-3-31	Л1.1Л1.1Л2. 2 Э1 Э2		КМ3	Р1,Р3
<b>Раздел 4. Лавинные фотодиоды на основе квантовых ям</b>								
4.1	Физика работы лавинных фотодиодов /Лек/	8	4	УК-2-В1 ПК-3-31	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э1		КМ1	Р5
4.2	Измерение параметров лавинных фотодиодов /Лаб/	8	4	ПК-3-31 ПК-3-У1	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э2		КМ1	Р5
4.3	Подготовка к зачету /Ср/	8	28	УК-2-В1 ОПК-2-32 ОПК-2-В1	Л1.1Л1.1Л2. 2 Э2		КМ3	Р5,Р6
<b>Раздел 5. Сверхрешетки и их использование в оптоэлектронике</b>								
5.1	Особенности электронных спектров сверхрешеток /Лек/	8	2	ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э1		КМ1,К М3	Р6
5.2	Технология изготовления сверхрешеток /Лек/	8	4	УК-2-В1 ПК-3-31	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э2		КМ3	Р6
5.3	Расчет параметров сверхрешеток /Пр/	8	4	УК-2-В1 ОПК-2-У1 ПК-3-В1	Л2.2Л1.1Л1. 1 Э1		КМ1	Р6
5.4	Подготовка к зачету /Ср/	8	20	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ПК-3-31 ПК-3-В1	Л1.1Л1.1Л2. 2 Э1 Э2		КМ3	Р6,Р5,Р 2

	<b>Раздел 6. Квантовый эффект Холла</b>							
6.1	Теория квантового эффекта Холла /Лек/	8	2	УК-2-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.2Л1.1 Э2		КМ1,КМ3	Р7
6.2	Структуры для изучения квантового эффекта Холла /Пр/	8	2	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-У1	Л1.1Л1.1Л2.2 Э1		КМ3	Р7
6.3	Подготовка к зачету /Ср/	8	8	УК-2-31 ОПК-2-31 ОПК-2-32 ОПК-2-У1	Л1.1Л1.1Л2.2 Э1 Э2		КМ3	Р7

### 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	Тест по основам зонной теории и квантово-размерным структурам	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;УК-2-31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Условия возникновения квантово-размерного эффекта в полупроводниках</li> <li>2. В каких материалах средняя длина волны де-Бройля больше и почему?</li> <li>3. Как рассчитать размер квантовой ямы, чтобы расстояние между энергетическими уровнями в зоне проводимости полупроводника было больше, чем средняя энергия кристаллической решетки. От чего будет зависеть это размер в большей степени?</li> <li>4. Тенденции изменения ширины запрещенной зоны при увеличении атомного номера элементов соединения.</li> <li>5. Как рассчитать число квантово-механических состояний в интервале от 0 до энергии E?</li> <li>6. Как влияет размер полупроводника на дискретность энергетического спектра?</li> <li>7. За счет чего происходит увеличение ширины запрещенной зоны полупроводника при уменьшении его размеров (квантово-размерный эффект).</li> </ol>
КМ2	Кр. Двумерный электронный газ (ДЭГ).	ОПК-2-32;ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1;ПК-3-31;ПК-3-В1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Условия возникновения ДЭГ.</li> <li>2. Расчет плотности поверхностных состояний в ДЭГ.</li> <li>3. Основные структуры, использующиеся для создания ДЭГ.</li> <li>4. В каких приборах используется ДЭГ?</li> <li>5. Чему равна ступенька Холловского сопротивления в целочисленном квантовом эффекте Холла.</li> </ol>

КМ3	Зачет с оценкой	ОПК-2-31;ОПК-2-32;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31;УК-2-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Условия возникновения квантово-размерного эффекта в полупроводниках</li> <li>2. В каких материалах средняя длина волны де-Бройля больше и почему?</li> <li>3. Как рассчитать размер квантовой ямы, чтобы расстояние между энергетическими уровнями в зоне проводимости полупроводника было больше, чем средняя энергия кристаллической решетки. От чего будет зависеть это размер в большей степени?</li> <li>4. Тенденции изменения ширины запрещенной зоны при увеличении атомного номера элементов соединения.</li> <li>5. Как рассчитать число квантово-механических состояний в интервале от 0 до энергии E?</li> <li>6. Как влияет размер полупроводника на дискретность энергетического спектра?</li> <li>7. За счет чего происходит увеличение ширины запрещенной зоны полупроводника при уменьшении его размеров (квантово-размерный эффект).</li> <li>8. Условия возникновения ДЭГ.</li> <li>9. Расчет плотности поверхностных состояний в ДЭГ.</li> <li>10. Основные структуры, используемые для создания ДЭГ.</li> <li>11. В каких приборах используется ДЭГ?</li> <li>12. Чему равна ступенька Холловского сопротивления в целочисленном квантовом эффекте Холла.</li> <li>13. Технологические методы создания квантово-размерных структур.</li> <li>14. Технология получения и параметры транзисторов с повышенной подвижностью (НЕМТ)</li> </ol>
-----	-----------------	---	---

### 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	Расчет параметров квантово-размерных структур	ОПК-2-У1;УК-2-31	Расчет размеров квантовой ямы двумерной гетероструктуры на основе ГС 1-го типа с известным параметром решетки узкозонной части для условия превышения расстояния между энергетическими уровнями величины кТ.
P2	Измерение параметров гетероструктур	ОПК-2-31;ПК-3-У1	Измерение ВАХ ГС первого типа
P3	расчет параметров двумерного электронного газа в структурах GaAs/AlGaAs	ОПК-2-У1;ОПК-2-31;ПК-3-В1	Расчет плотности поверхностных состояний и глубины потенциальной ямы в структурах GaAs/AlGaAs
P4	Измерение вольт-амперных характеристик НЕМТ-транзисторов	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-2-31	Измерение зависимости тока исток-сток от напряжения на затворе МОП транзистора с двумерной ямой для электронов
P5	Измерение параметров лавинных фотодиодов	ПК-3-У1;ПК-3-31	Измерение обратного тока лавинного фотодиода в зависимости от интенсивности освещения
P6	Расчет параметров сверхрешеток	УК-2-В1;ПК-3-В1;ОПК-2-У1	Определение размеров квантовых ям и периода сверхрешетки для достижения искомого уровня дискретности энергетического спектра
P7	Структуры для изучения квантового эффекта Холла	ОПК-2-У1;УК-2-31;УК-2-У1	Изучение структур МОП транзисторов на основе двумерного электронного газа для наблюдения целочисленного квантового эффекта Холла.

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

Экзаменационный билет состоит из трех теоретических вопросов из различных разделов дисциплины. Комплект билетов хранится на кафедре.

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

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Векилов Ю. Х., Кузьмин Ю. М., Мухин С. И.	Квантовая механика: учеб. пособие для практ. занятий студ. спец. 1105	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Векилов Ю. Х., Кузьмин Ю. М., Мухин С. И., Муковский Я. М., Векилов Ю. Х.	Курс теоретической физики в задачах и упражнениях: учеб. пособие для студ. вузов спец. 'Физика металлов' и 'Металловедение и терм. обработ. металлов'	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2005
Л3.2	Векилов Ю. Х., Иванов И. А., Матвеева Ю. Л., др., Мухин С. И.	Электронная теория металлов: сб. задач	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013

**6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Э1	<a href="http://lib.misis.ru/elcat.html">http://lib.misis.ru/elcat.html</a>	<a href="http://lib.misis.ru/elcat.html">http://lib.misis.ru/elcat.html</a>
Э2	<a href="http://elibrary.misis.ru/">http://elibrary.misis.ru/</a>	<a href="http://elibrary.misis.ru/">http://elibrary.misis.ru/</a>

**6.3 Перечень программного обеспечения**

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
П.2	ESET NOD32 Antivirus
П.3	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.4	Microsoft Visual Studio 2015
П.5	Microsoft Office
П.6	LMS Canvas
П.7	MS Teams
П.8	MATCAD

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных****7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Ауд.	Назначение	Оснащение
------	------------	-----------



К-510	Учебная аудитория	комплект лабораторного оборудования по ФТТ (АПК ТАУМЕР, установка "ВИК УЭС", компьютер с ПО); электромагнит ФЛ-1; установка для измерения Эффекта Холла, ноутбук с ПО, установка измерения сопротивления полупроводника в магнитном поле (электромагнит, прибор универсальный, источник питания универсальный, источник тока Э378, вольтметр В7-21А); установка определения удельного сопротивления двухзондовым методом (вольтметр В7-21А, источник питания Б5-50, стенд для измерения УЭС 2-зондовым методом с освещением и эталонным сопротивлением); установка изучения поглощения света в полупроводниках (монохроматор УМ-2, фотоприемник, вольтметр В7-16А, пульт питания с лампой ЭПС-112); установка измерения собственной и примесной проводимости полупроводниковых материалов (монохроматор МДР-3, вольтметр В7-138, источник питания с лампой ВК7-7); установка измерения температурной зависимости электропроводности (компьютер с лицензионным ПО, нагреватель, приставка для измерения ширины запрещенной зоны, источник питания Б5-30)
-------	-------------------	---

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «Квантово-размерные структуры в наноэлектронике» требует значительного объема самостоятельной работы студента. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Подготовка к лабораторным занятиям предусматривает проработку теоретического материала по теме предстоящей лабораторной работы, блок-схемы измерительной установки, программы исследования и методических указаний по выполнению лабораторной работы. Результатом подготовки к лабораторной работе является домашняя заготовка отчета.