

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ:



Проректор по учебно-методической
работе д-р филол. наук, профессор

Е.Г. Елина

2016 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика квантово-размерных структур

Направление подготовки кадров высшей квалификации
11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность

**Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах**

Квалификация (степень) выпускника

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

Заочная

Саратов
2016

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика квантово-размерных структур» является формирование у аспирантов комплекса профессиональных знаний и умений (владений) и усвоение материала в области физики квантово-размерных структур, основных свойств, присущих квантово-размерным структурам и физических явлений в квантово-размерных структурах, лежащих в основе работы приборов полупроводниковой электроники, приобретение аспирантами знаний и выработка навыков в исследованиях свойств квантово-размерных структур, приобретение аспирантами знаний в области создания современной элементной базы полупроводниковой электроники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний в теории физики квантово-размерных структур, о физических явлениях в квантово-размерных структурах и основных характеристиках приборов на их основе.
- формирование умений обеспечивать технологическую и конструктивную реализацию методов определения основных параметров квантово-размерных структур;
- овладение сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы.

2. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Физика квантово-размерных структур» является обязательной, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 11.06.01 "Электроника, радиотехника и системы связи", направленность – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Дисциплина «Физика квантово-размерных структур» изучается в 5 семестре.

Входные знания, умения и компетенции, необходимые для изучения данного курса, формируются в процессе изучения таких дисциплин, как: актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники, зондовые методы исследования наноструктур и нанокомпозитов, элементы и приборы нанoeлектроники, изучаемые в рамках программы магистратуры.

3. Результаты обучения, определенные в картах компетенций и формируемые по итогам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Физика квантово-размерных структур» направлен на формирование компетенции УК-1.

УК-1. способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

В результате освоения дисциплины аспирант должен

- **знать** физические свойства систем с пониженной размерностью, методы их создания; особенности проявления квантовых эффектов в базовых элементах полупроводниковой электроники, их классификацию;
- **уметь** оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах полупроводни-

ковой электроники; применять методы расчёта параметров и характеристик приборов полупроводниковой электроники;

- владеть методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов полупроводниковой электроники; сведениями о технологии их изготовления.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по темам) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
			лекции	практические	СР	
I	Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки					
1.1	Размерное квантование. Двумерные, одномерные и нульмерные электронные системы и структуры. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами	5	2		12	Опрос
1.2	Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах	5			6	Реферат
II	Квантово-размерные структуры и приборы на их основе					
2.1	Гетероструктуры с селективным легированием. Гетероструктуры с инжекцией горячих электронов. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми нитями и квантовыми точками	5			12	Опрос
III	Методы формирования квантово-размерных структур.					
3.1	Формирование	5			12	Опрос

	квантово-размерных структур «традиционными» методами. Формирование квантово-размерных структур на основе наноразмерных атомных кластеров. Спонтанное упорядочение полупроводниковых наноструктур					
IV	Энергетическая структура квантово-размерных полупроводниковых кристаллов					
4.1	Энергетическая структура 3-х и 2-мерных полупроводниковых кристаллов/ Энергетическая структура 1- и 0-мерных полупроводниковых кристаллов	5			12	Опрос
V	Статистика равновесных электронов и дырок					
5.1	Плотность состояний. Распределение носителей заряда по энергиям	5	2		12	Опрос
VI	Электронные свойства низкоразмерных структур					
6.1	Область пространственного заряда	5			6	Опрос
6.2	Экситоны в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах	5			8	Опрос
6.3	Размерное квантование при надбарьерном пролете электронов. Прохождение электронов над потенциальной ямой	5		2	8	Опрос
VII	Тунелирование электронов через ДБКС					
7.1	Механизм последовательного тунелирования. Энергетический спектр электрона в квантовой яме	5	2		8	Опрос
7.2	Влияние рассея-	5			8	Опрос

	ния носителей заряда на время жизни электрона и ширину уровня энергии в квантовой яме ДБКС. Инерционность резонансного туннелирования					
7.3	Зонные диаграммы и вольт-амперные характеристики РТД. Характеристики РТД на основе ДБКС с параболической квантовой ямой	5			8	Реферат
VII I	Микроэлектронные приборы на основе ДБКС	5				
8.1	Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики горизонтально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД). Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики вертикально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД).	5			10	Опрос
8.2	Биполярные резонансно-туннельные транзисторы (БРТТ). Зонные диаграммы. Полевые резонансно-туннельные транзисторы (ПРТТ). Интерференция электронных волн в двухканальной квантовой структуре	5		2	8	Опрос
IX	Оптические свойства квантово-размерных структур	5				
9.1	Спектры поглощения квантово-размерных структур. Экситонный механизм поглощения оптического излучения в	5	2		8	Опрос

	квантово-размерных гетероструктурах					
9.2	Применение квантово-размерных структур в оптоэлектронике. Бистабильные оптические устройства на основе квантово-ограниченных структур. Полупроводниковые лазеры с квантово-размерными структурами. Фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур	5			10	Сообщение с презентацией
X	Одноэлектронный транспорт	5				
10.1	Теоретические основы одноэлектроники	5			8	Опрос
10.2	Приборные структуры одноэлектроники Применение одноэлектронных приборов	5			8	Опрос
Итого: 180 часов			8	4	168	Зачёт

Содержание дисциплины

Раздел 1 Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки

Тема №1 Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутрizonных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.

Тема №3 Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла

Раздел 2 Квантово-размерные структуры и приборы на их основе

Тема №1 Гетероструктуры и сверхрешетки. Гетероструктуры с селективным легированием. Гетероструктуры с инжекцией горячих электронов. Гетероструктуры на горячих электронах с переносом заряда в пространстве. Сверхрешетки. Композиционные сверхрешетки. Легированные сверхрешетки. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми нитями и квантовыми точками.

Раздел 3 Методы формирования квантово-размерных структур.

Тема №1 Формирование квантово-размерных структур «традиционными» методами (молекулярно-лучевая эпитаксия, ионно-лучевое травление, электронно-лучевая и рентгеновская литография). Формирование квантово-размерных структур на основе

наноразмерных атомных кластеров. Формирование кластеров. Причины кластерообразования. Спонтанное упорядочение полупроводниковых наноструктур. Концентрационные упругие домены в твердых растворах полупроводников. Периодически фасетированные поверхности. Поверхностные структуры плоских упругих доменов. Упорядоченные массивы трехмерных когерентно напряженных островков. Массивы вертикально связанных квантовых точек

Раздел 4 Энергетическая структура квантово-размерных полупроводниковых кристаллов

Тема №1. Энергетическая структура 3-х и 2-мерных полупроводниковых кристаллов. Энергетическая структура 1- и 0-мерных полупроводниковых кристаллов

Раздел 5 Статистика равновесных электронов и дырок в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах.

Тема №1 Плотность состояний, распределение носителей заряда по энергиям.

Раздел 6 Электронные свойства квантово-размерных кристаллов.

Тема №1 Область пространственного заряда в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах.

Тема №2 Экситоны в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах.

Тема №3 Размерное квантование при надбарьерном пролете электронов. Прохождение электронов над потенциальной ямой

Раздел 7 Туннелирование электронов через ДБКС.

Тема №1 Механизм последовательного туннелирования. Сечение Ферми. Механизм резонансного туннелирования. Энергетический спектр электрона в квантовой яме.

Тема №2 Время жизни электрона в квантовой яме. “Естественная” ширина уровня энергии в квантовой яме ДБКС. Влияние рассеяния носителей заряда на время жизни электрона и ширину уровня энергии в квантовой яме ДБКС. Прохождение электронной волны через ДБКС вблизи резонанса. Инерционность резонансного туннелирования. Время туннелирования через ДБКС. Быстродействие приборов на основе ДБКС

Тема №3 Зонные диаграммы и вольт-амперные характеристики РТД на основе ДБКС с прямоугольной квантовой ямой. Зонные диаграммы и вольт-амперные характеристики РТД на основе ДБКС с параболической квантовой ямой.

Раздел 8 Микроэлектронные приборы на основе ДБКС.

Тема №1 Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики горизонтально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД). Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики вертикально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД).

Тема №2 Биполярные резонансно-туннельные транзисторы (БРТТ). Зонные диаграммы. Полевые резонансно-туннельные транзисторы (ПРТТ). Структура. Вольт-амперные характеристики. Интерференция электронных волн в двухканальной квантовой структуре.

Раздел 9 Оптические свойства квантово-размерных структур.

Тема №1 Спектры поглощения квантово-размерных структур. Экситонный механизм поглощения оптического излучения в квантово-размерных гетероструктурах.

Тема №2 Применение квантово-размерных структур в оптоэлектронике. Бистабильные оптические устройства на основе квантово-ограниченных структур. Полупроводниковые лазеры с квантово-размерными структурами. Фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур.

Раздел 10 Одноэлектронный транспорт.

Тема №1 Теоретические основы одноэлектроники. Теория кулоновской блокады.

Тема №2 Приборные структуры одноэлектроники. Применение одноэлектронных приборов.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации учебной работы по освоению дисциплины «Физика квантово-размерных структур» используются современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- дискуссии на практических занятиях;
- исследовательские методы в обучении;
- проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу аспирантов и руководство этой работой со стороны преподавателей.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: подготовка и защита реферата, индивидуальные и групповые консультации, работа с информационными ресурсами, подготовка сообщения с соответствующей презентацией, проблемный семинар, дискуссии на практических занятиях.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

6.1. Виды самостоятельной работы

Раздел/Тема дисциплины	Вид самостоятельной работы	Литература
Раздел 1 Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки		
Тема 1. Размерное квантование. Двумерные, одномерные и нульмерные электронные системы и структуры. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами	<p><i>- проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p> <p><i>- подготовка к лекционным и практическим занятиям.</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с.</p> <p>2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с.</p> <p>3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф</p> <p>4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
Тема 2. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p> <p><i>- подготовка реферата</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с.</p> <p>2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с.</p> <p>3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф</p> <p>4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>

Раздел 2. Квантово-размерные структуры и приборы на их основе		
Тема 1. Гетероструктуры с селективным легированием. Гетероструктуры с инъекцией горячих электронов. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми нитями и квантовыми точками	<i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Раздел 3. Методы формирования квантово-размерных структур.		
Тема 1. Формирование квантово-размерных структур «традиционными» методами. Формирование квантово-размерных структур на основе наноразмерных атомных кластеров. Спонтанное упорядочение полупроводниковых наноструктур	<i>- проработка конспектов вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Раздел 4. Энергетическая структура квантово-размерных полупроводниковых кристаллов		
Тема 1. Энергетическая структура 3-х и 2-мерных полупроводниковых кристаллов/ Энергетическая структура 1- и 0-мерных полупроводниковых кристаллов	<i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Раздел 5. Статистика равновесных электронов и дырок		
Тема 1. Плотность состояний. Распределение носителей заряда по энергиям	<i>- проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i> <i>- подготовка к лекционным занятиям.</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие

		<p>/ В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф</p> <p>4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
Раздел 6. Электронные свойства низко-размерных структур		
Тема 1. Область пространственного заряда	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с.</p> <p>2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с.</p> <p>3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф</p> <p>4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
Тема 2. Экситоны в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с.</p> <p>2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с.</p> <p>3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф</p> <p>4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
Тема 3. Размерное квантование при надбарьерном пролете электронов. Прохождение электронов над потенциальной ямой	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p> <p><i>- подготовка к практическим занятиям.</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с.</p> <p>2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с.</p> <p>3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф</p> <p>4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
Раздел 7. Туннелирование электронов через ДБКС		
Тема 1. Механизм последовательного туннелирования. Энергетический спектр электрона в квантовой яме	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p> <p><i>- подготовка к лекционным занятиям.</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с.</p> <p>2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с.</p> <p>3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф</p> <p>4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П.</p>

		Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Тема 2. Влияние рассеяния носителей заряда на время жизни электрона и ширину уровня энергии в квантовой яме ДБКС. Инерционность резонансного туннелирования	<i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i>	1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанозлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Тема 3. Зонные диаграммы и вольт-амперные характеристики РТД. Характеристики РТД на основе ДБКС с параболической квантовой ямой	<i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i> <i>- подготовка реферата</i>	1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанозлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Раздел 8. Микроэлектронные приборы на основе ДБКС		
Тема 1. Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики горизонтально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД). Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики вертикально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД).	<i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i>	1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанозлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Тема 2. Биполярные резонансно-туннельные транзисторы (БРТТ). Зонные диаграммы. Полевые резонансно-туннельные транзисторы (ПРТТ). Интерференция электронных волн в двухканальной квантовой структуре	<i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i> <i>- подготовка к практическим занятиям.</i>	1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанозлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.
Раздел 9. Оптические свойства квантово-размерных структур		

<p>Тема 1. Спектры поглощения квантово-размерных структур. Экситонный механизм поглощения оптического излучения в квантово-размерных гетероструктурах</p>	<p><i>- проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i> <i>- подготовка к лекционным занятиям.</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
<p>Тема 2. Применение квантово-размерных структур в оптоэлектронике. Бистабильные оптические устройства на основе квантово-ограниченных структур. Полупроводниковые лазеры с квантово-размерными структурами. Фотоприемники ИК-диапазона на основе квантово-размерных структур</p>	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
<p>Раздел 10. Одноэлектронный транспорт</p>		
<p>Тема 1. Теоретические основы одноэлектроники</p>	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
<p>Тема 2. Приборные структуры одноэлектроники Применение одноэлектронных приборов</p>	<p><i>- проработка вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение с помощью основной и дополнительной литературы;</i></p>	<p>1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. 2. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии сегодняшней нанотехнологии: учеб. пособие / Н. Г. Рамбиди. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. 3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. Гриф 4. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с.</p>
<p>Итого часов на самостоятельную работу: 168</p>		

6.2. Вопросы для углубленного самостоятельного изучения

1. Размерное квантование. Двумерные, одномерные и нульмерные электронные системы и структуры. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами
2. Гетероструктуры с селективным легированием. Гетероструктуры с инъекцией горячих электронов. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми нитями и квантовыми точками
3. Формирование квантово-размерных структур «традиционными» методами. Формирование квантово-размерных структур на основе наноразмерных атомных кластеров. Спонтанное упорядочение полупроводниковых наноструктур
4. Энергетическая структура 3-х и 2-мерных полупроводниковых кристаллов/ Энергетическая структура 1- и 0-мерных полупроводниковых кристаллов
5. Область пространственного заряда
6. Экситоны в квантово-размерных полупроводниковых кристаллах
7. Влияние рассеяния носителей заряда на время жизни электрона и ширину уровня энергии в квантовой яме ДБКС. Инерционность резонансного туннелирования
8. Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики горизонтально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД). Структура, эквивалентная схема и вольтамперные характеристики вертикально интегрированных резонансно-туннельных диодов (РТД).
9. Теоретические основы одноэлектроники
10. Приборные структуры одноэлектроники Применение одноэлектронных приборов

6.3. Порядок выполнения самостоятельной работы

Самостоятельная подготовка к занятиям осуществляется регулярно по каждой теме дисциплины и определяется календарным графиком изучения дисциплины. В ходе освоения курса предполагается написание не менее 2 рефератов, выполнение 1 презентации по тематическим разделам курса.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1. Формы текущего контроля работы аспирантов

В ходе изучения дисциплины готовятся рефераты по разделам № 1 и №7, готовится и делается сообщение с презентацией по разделу № 9, проводится опрос.

7.2. Порядок осуществления текущего контроля

Текущий контроль выполнения заданий осуществляется регулярно, начиная с 3 недели семестра. Контроль и оценивание выполнения (*подготовка реферата*) осуществляется на 8 неделе семестра. Текущий контроль освоения отдельных разделов дисциплины осуществляется при помощи написания реферата после завершения изучения разделов №1 и 7 и подготовки сообщения с презентацией после завершения изучения раздела №9.

Система текущего контроля успеваемости служит в дальнейшем наиболее качественному и объективному оцениванию в ходе промежуточной аттестации.

7.3. Промежуточная аттестация по дисциплине

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета.

7.4. Фонд оценочных средств

Содержание фонда оценочных средств см. Приложение №1.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Научные основы нанотехнологий и новые приборы: учеб.-моногр. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 527 с. (в НБ СГУ 5 экз.)
2. Рамбиди Н. Г. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии: учеб. пособие. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с. (в НБ СГУ 14 экз.)
3. Нанoeлектроника [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / Троян П. Е. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 88 с. — ЭБС «IPRbooks». — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13949>
4. Физика малых частиц и наноструктурных материалов : учебное пособие [**Электронный ресурс**] / Стукова Е.В., Барышников С.В., Милинский А.Ю. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2010. - 152 с. – Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/48198>. – ЭБС "РУКОНТ"

б) дополнительная литература:

1. Датта С. Квантовый транспорт. От атома к транзистору [**Электронный ресурс**]/ Датта С.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2009.— 532 с. — ЭБС «IPRbooks». — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16542>
2. Нанотехнологии: учеб. пособие / Ч. П. Пул, Ф. Дж. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 3-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2007. - 375 с. **Гриф** (в НБ СГУ 5 экз.). - 5-е изд., испр. и доп. - М.: Техносфера, 2010. - 330 с. (в НБ СГУ 5 экз.)
3. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М.: Физматкнига : Логос : Унив. кн., 2006. - 494 с. **Гриф** (в НБ СГУ 14 экз.)
4. Квантовая физика и нанотехнологии [**Электронный ресурс**] : монография / Неволин В. К. - Москва : Техносфера, 2013. - 128 с. — ЭБС «IPRbooks». — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16975>
5. Введение в нанотехнологию (общие сведения, понятия и определения) [**Электронный ресурс**] : [учеб. пособие] / Жабрев ,Марголин ,Павельев . - Самара : Издательство СГАУ, Б. г. - 173 с. – ЭБС "Руконт". – Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/176285>
6. Физика низкоразмерных систем: учеб. пособие для студентов вузов по направлению "Техн. физика" / А. Я. Шик [и др.] ; . - СПб. : Наука, 2001. – 154 с. (в НБ СГУ 12 экз)
7. Погосов В. В. Введение в физику зарядовых и размерных эффектов. Поверхность, кластеры, низкоразмерные системы: учеб. пособие. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 328 с. **Гриф** (в НБ СГУ 5 экз)
8. Нанотехнологии: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул, Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина ; доп. В. В. Лучинина. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. – 334 с. (в НБ СГУ 13 экз)
9. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. - 331 с. (в НБ СГУ 8 экз)
10. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. – М.: Логос, 2000. – 248 с. (в НБ СГУ 5 экз)
11. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности / А. Ф. Кравченко, В. Н. Овсяк. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2000. - 448 с. (2 экз.)
12. Воробьев Л.Е., Ивченко Е.Л., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А. Оптические свойства наноструктур.- С.-Пб.: Наука, 2001.- 188 с. (в НБ СГУ 12 экз.).
13. Физика полупроводников: Явления переноса в структурах с туннельно-тонкими полупроводниковыми слоями / Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1996. – 233 с. (в НБ СГУ 5 экз.)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – Режим доступа: <http://www.iqlib.ru>
5. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>
6. Федоров А.В. Физика и технология гетероструктур, оптика квантовых наноструктур: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. - 195 с. Режим доступа: http://window.edu.ru/window/library?p_rid=63740

б) рекомендуемая литература:

1. Квантовый транспорт в устройствах электроники [**Электронный ресурс**] : монография / Неволин В. К. - Москва : Техносфера, 2012. - 88 с. — ЭБС «IPRbooks». — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16976>
2. Грундман, Мариус. Основы физики полупроводников. Нанофизика и технические приложения = The Physics of Semiconductors / М. Грундман ; пер. с англ. под ред. В. А. Гергеля. 2е изд. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. 771 с. (в НБ СГУ 1 экз.)
3. Управляемое диссипативное туннелирование. Туннельный транспорт в низкоразмерных системах / А. К. Арынгазин [и др.] ; под ред. Э. Дж. Леггета. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. 495 с. (в НБ СГУ 1 экз.)
4. Нанозлектроника / под ред. А. А. Орликовского. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009 - . - (Электроника в техническом университете / под общ. ред. И. Б. Фёдорова). Ч. 1 : Введение в нанозлектронику. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 719 с. (в НБ СГУ 1 экз.)
5. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям: в 3 т. / Федер. гос. учреждение Науч.-произв. комплекс "Технологический центр" Моск. гос. ин-та электронной техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. Н. Саурова. - 2-е изд. - Москва : Техносфера, 2010. - Т. 1. - Москва : Техносфера, 2010. - 862 с. (В НБ СГУ 1 экз)
6. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям: в 3 т. / Федер. гос. учреждение Науч.-произв. комплекс "Технологический центр" Моск. гос. ин-та электронной техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. Н. Саурова. - 2-е изд. - Москва : Техносфера, 2010. - Т. 2. - Москва : Техносфера, 2010. - 1040 с. (В НБ СГУ 1 экз)
7. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям: в 3 т. / Федер. гос. учреждение Науч.-произв. комплекс "Технологический центр" Моск. гос. ин-та электронной техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. Н. Саурова. - 2-е изд. - Москва : Техносфера, 2010. - Т. 3. - Москва : Техносфера, 2010. - 832 с. (В НБ СГУ 1 экз)

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения занятий по дисциплине «Физика квантово-размерных структур», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- лекционная аудитория, оснащенная мультимедийными проекторами, маркерными досками для демонстрации учебного материала;
- специализированные компьютерные классы;
- аппаратное и программное обеспечение (и соответствующие методические материалы) для проведения самостоятельной работы по дисциплине.

10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для аспирантов с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены следующие формы организации педагогического процесса и контроля знаний:

- для слабовидящих:

обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

для выполнения контрольных заданий при необходимости предоставляется увеличивающее устройство;

задания для выполнения, а также инструкция о порядке выполнения контрольных заданий оформляются увеличенным шрифтом

(размер 16-20);

- для глухих и слабослышащих:

обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости аспирантам предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;

- для лиц с тяжелыми нарушениями речи, глухих, слабослышащих все контрольные задания по желанию аспирантов могут проводиться в письменной форме.

Основной формой организации педагогического процесса является интегрированное обучение инвалидов, т.е. все аспиранты обучаются в смешанных группах, имеют возможность постоянно общаться со сверстниками, легче адаптируются в социуме.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи», направленность «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Авторы программы:

профессор кафедры физики твёрдого тела,
д.ф.-м.н., профессор Челб Усанов Д.А.

профессор кафедры физики твёрдого тела,
д.ф.-м.н., профессор Ск Скрипаль Ал.В.

Программа одобрена на заседании ученого совета факультета нано- и биомедицинских технологий Саратовского государственного университета (протокол № 11 от 9 июня 2016 г.).

Декан факультета нано- и биомедицинских технологий, профессор

С.Б. Вениг С.Б. Вениг

« 1 » июня 2016 г.

8