

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физики полупроводников и микроэлектроники
(Е.Н.Бормонтов)

31.08.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.01 Физические основы наноэлектроники

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки: 03.04.03 «Радиофизика»
2. Профиль подготовки: Интегральная элементная база телекоммуникационных технологий
3. Квалификация (степень) выпускника: магистр
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики
полупроводников и микроэлектроники
6. Составители программы: Бормонтов Евгений Николаевич,
доктор физико-математических наук, профессор
(ФИО, ученая степень, ученое звание)
7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024
(наименование recommending structure, date, protocol number)
8. Учебный год: 2024-2025 Семестр(-ы): 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины: Целью освоения учебной дисциплины является формирование систематических знаний и фундаментальных принципов, определяющих структуру квантовых низкоразмерных систем, а также изучение явлений и процессов в наноэлектронных структурах, использующихся при разработке элементов и приборов наноэлектроники.

Задачи учебной дисциплины:

- получение представлений о физических идеях и принципах современной наноэлектроники;

- формирование комплекса теоретических знаний о физических свойствах нанoeлектронных систем, важнейших физических процессах и явлениях, составляющих фундаментальную основу нанoeлектроники;
- знакомство с существующими моделями, теориями различных физических явлений и основными областями применения нанoeлектронных структур;
- изучение приборов нанoeлектроники.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (вариативная) блока Б1. Дисциплина формирует знания, необходимые для успешного освоения дисциплины Б1.В.06 Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовой функции В/01.7 «Конструирование наногетероструктурных СВЧ-монокристаллических интегральных схем в соответствии с техническим заданием для выбираемой технологии» профессионального стандарта 40.003.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-1	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях систем связи и телекоммуникаций	ПК-1.2	Владеет фундаментальными знаниями в области полупроводниковой СВЧ-электроники	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - явления и процессы в нанoeлектронных структурах, использующихся при разработке элементов и приборов СВЧ-электроники; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять методы расчета параметров и характеристик приборов и устройств СВЧ-электроники на основе нанoeлектронных структур.
ПК-2	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях интегральной элементной базы телекоммуникационных систем	ПК-2.1	Способен моделировать низкоразмерные структуры и проектировать приборы на их основе	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - фундаментальные принципы, определяющие структуру квантовых низкоразмерных систем; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять теоретические знания о физических свойствах нанoeлектронных систем, важнейших физических процессах и явлениях, составляющих фундаментальную основу нанoeлектроники; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами применения моделей физических явлений, лежащих в основе функционирования нанoeлектронных структур.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2/72.

Форма промежуточной аттестации - зачет

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		1 сем.
Аудиторные занятия	38	38
в том числе:		
лекции	12	12
практические занятия	26	26
Самостоятельная работа	34	34
Форма промежуточной аттестации - зачет		
Итого:	72	72

13.1. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их модели.	Квантовый конфайнмент и размерность электронной системы. Размерное квантование. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов. Элементарные наноструктуры: квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки, полупроводниковые сверхрешетки и их квантово-механические модели.
1.2	Электронные свойства квантовых наноструктур.	Энергетический спектр и волновые функции двумерного (2D), одномерного (1D) и нульмерного (0D) электронного газа. Описание электронных состояний методом огибающей. Основные типы и энергетический спектр сверхрешеток. Модулированное легирование. Полевые транзисторы на электронах с высокой подвижностью. Статистика носителей в системах пониженной размерности. Размерная осцилляция физических свойств 2D- электронного газа.
1.3	Интерференционные эффекты и приборы. Баллистический транспорт.	Квантово-интерференционные явления и приборы. Баллистический транспорт. Приборы на основе баллистического транспорта. Особенности баллистического переноса в структурах пониженной размерности и их применение.
1.4	Оптические свойства квантовых наноструктур. Гетеролазеры на квантовых ямах и квантовых точках.	Оптика квантовых структур. Вероятность перехода в поле электромагнитной волны. Правила отбора. Возможность управления оптическими параметрами в широких пределах. Фотонные кристаллы. Возможность реализации лазерной генерации в непрерывном режиме при комнатной температуре. Каскадные лазеры на междузонных переходах в системе квантовых ям и квантовых точек.
1.5	Резонансное туннелирование и приборы на его основе.	Вывод условий для реализации туннелирования с единичной вероятностью. Эффект резонансного туннелирования в двухбарьерной структуре с квантовой ямой и в многобарьерных квантовых структурах. ВАХ двух- и многобарьерных структур. Приборы на основе резонансного туннелирования.
1.6	Туннелирование в условиях кулоновской блока-	Запирание туннельного тока за счет увеличения кулоновской энергии системы при добавлении одного электрона.

	ды. Одноэлектроника.	Условия наблюдения эффекта. ВАХ асимметричного туннельного контакта без затвора. Механизм образования ступеней. Одноэлектронный транзистор. Устройства на основе одноэлектронных транзисторов. Новые типы электронных схем.
1.7	Магнитные наноструктуры. Спинтроника. Перспективы наноэлектроники.	Гигантское магнетосопротивление наноструктур, состоящих из чередующихся магнитных и немагнитных слоев; элементы записи, хранения и считывания информации. Инжекция спиновых токов как основа нового класса приборов; квантовый компьютер.
2. Практические занятия		
2.1	Введение. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их модели.	Занятия 1,2. Расчет коэффициента пропускания одномерного квантового потенциального барьера типа «ступенька». Занятия 3,4. Моделирование туннельного эффекта на примере одномерного квантового прямоугольного барьера.
2.2	Электронные свойства квантовых наноструктур.	Занятие 5,6. Расчет спектра разрешенных энергетических уровней одномерной квантовой прямоугольной ямы конечной глубины. Занятия 7,8,9. Моделирование энергетического спектра сверхрешетки с использованием модели Кронига-Пенни. Занятия 10,11 Расчет зависимости энергии от волнового вектора в сверхрешетке в приближении сильной связи с использованием модели Кронига-Пенни.
2.3	Интерференционные эффекты и приборы. Баллистический транспорт.	
2.4	Оптические свойства квантовых наноструктур. Гетеролазеры на квантовых ямах и квантовых точках.	
2.5	Резонансное туннелирование и приборы на его основе.	Занятия 12,13. Моделирование эффекта резонансного туннелирования на примере одномерной структуры из двух квантовосвязанных прямоугольных барьеров
2.6	Туннелирование в условиях кулоновской блокады. Одноэлектроника.	
2.7	Магнитные наноструктуры. Спинтроника. Перспективы наноэлектроники.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практические	Сам. работа	Всего
1	Введение. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их модели	1	8	2	11
2	Электронные свойства квантовых наноструктур.	2	14	6	22
3	Интерференционные эффекты и приборы. Баллистический транспорт	2	-	4	6
4	Оптические свойства квантовых наноструктур. Гетеролазеры на квантовых ямах и квантовых точках	2	-	6	8

5	Резонансное туннелирование и приборы на его основе.	2	4	6	12
6	Туннелирование в условиях кулоновской блокады. Одноэлектроника	2	-	4	6
7	Магнитные наноструктуры. Спинтроника. Перспективы наноэлектроники.	1	-	6	7
	Итого:	12	26	34	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Физические основы наноэлектроники» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. Обязательное посещение практических занятий и текущих аттестаций.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнится, когда требуется.

Следует помнить, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
 - понимать значение и важность ее в данном курсе;
 - четко представлять план;
 - уметь выделить основное, главное;
 - усвоить значение примеров и иллюстраций;
 - связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
 - представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.
- Существует несколько общих правил работы на лекции:
- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
 - к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и неизвестное, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью. Самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности. Она обеспечивает формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении курса «Физические основы наноэлектроники» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к зачету.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Драгунов В.П. Микро- и нанoeлектроника / В.П. Драгунов ; Остертак Д. И. — Новосибирск : НГТУ, 2012 .— 38 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
2	Троян П.Е. Нанoeлектроника / П.Е. Троян ; Сахаров Ю. В. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010 .— 88 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
3	Щука А.А. Нанoeлектроника / А.А. Щука .— 2-е изд. (эл.) .— Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 .— 349 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
4	Филимонова Н.И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. I / Н.И. Филимонова ; Кольцов Б. Б. — Новосибирск : НГТУ, 2013 .— 134 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228943 .
5	Шишкин Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства / Г.Г. Шишкин ; Агеев И. М. — 2-е изд. (эл.) .— Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 .— 413 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Физика низкоразмерных систем : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Техн. физика" / А. Я. Шик, Л. Г. Бакуев, С. Ф. Мусихин, С. А. Рыков; Под общ.ред. В.И.Ильина, А. Я. Шика .— СПб. : Наука, 2001 .— 154 с.
7	Демиховский В.Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В. Я. Демиховский, Г. А. Вугальтер .— М. : Логос, 2000 .— 246 с.
8	Кравченко А.Ф. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности / А. Ф. Кравченко, В. Н. Овсяк .— Новосибирск : Изд-во Новосиб.унта, 2000 .— 447 с.
9	Драгунов В.П. Основы нанoeлектроники : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Электроника и микроэлектроника", специальностям "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и "Микросистемная техника" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин .— М. : Физматкнига : Логос, 2006 .— 494 с.
10	Нанoeлектроника .— М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009- .— (Электроника. Прикладная электроника / под общ. ред. И.Б. Федорова) .— Ч. 1: Введение в нанoeлектронику / [К.А. Валиев и др.] ; под ред. А.А. Орликовского .— 2009 .— 719 с.
11	Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки / М. Херман ; пер. с англ. А. Я. Шика .— М. : Мир, 1989 .— 238 с.
12	Ю П. Основы физики полупроводников / П. Ю, М. Кардона ; Пер. И.И. Решинной; Под ред. Б.П. Захарченя .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2002 .— 560 с.
13	Кульчицкий Н.А. Полупроводниковые сверхрешетки: свойства, применение : Учеб. пособие / Н. А. Кульчицкий, А. А. Мельников, А. В. Войцеховский; М-во образования Рос. Федерации. Моск. гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики (техн. ун-т). - М. : Моск. гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики (техн. ун-т), 2000. - 79 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
14	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
15	Физические основы кремниевой нанoeлектроники [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / Г. И. Зебрев. — 3-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые

	дан. (1 файл pdf : 243 с.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — (Нанотехнологии).
16	The BSIM Group <URL: http://www-device.eecs.berkeley.edu/bsim/ >
17	Linear Technology Design Support <URL: http://www.linear.com/designtools/software/ >
18	The International Technology Roadmap for Semiconductors <URL: http://www.itrs.net/ >

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Изучение углеродных нанотрубок методом сканирующей электронной микроскопии : учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: Ю.В. Соколов, Л.А. Битюцкая, Е.Н. Бормонтон. — Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2010. — 23 с. : ил. — Библиогр.: с.23.
2	Яковенко Н.В. Самостоятельная работа студентов : методические рекомендации / Н. В. Яковенко, О.Ю. Сушкова. — Воронеж, 2015. — 22 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:

№ п/п	Источник
1	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
2	Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

При теоретическом обучении используется мультимедийный проектор для всех лекций по мере необходимости.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их модели.	ПК-2	ПК-2.1	Результаты практических занятий 1-4
2	Электронные свойства квантовых наноструктур.	ПК-2	ПК-2.1	Результаты практических занятий 5-11
3	Интерференционные эффекты и приборы. Баллистический транспорт.	ПК-1	ПК-1.2	Вопросы к зачету
4	Оптические свойства квантовых наноструктур. Гетеролазеры на квантовых ямах и квантовых точках.	ПК-2	ПК-2.1	Вопросы к зачету
5	Резонансное туннелирование и приборы на его основе.	ПК-1	ПК-1.2	Результаты практических занятий 12-13
6	Туннелирование в условиях кулоновской блокады. Одноэлектроника.	ПК-1	ПК-1.2	Вопросы к зачету
7	Магнитные наноструктуры. Спинтроника. Перспективы нанoeлектроники.	ПК-2	ПК-2.1	Вопросы к зачету

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
Промежуточная аттестация: форма контроля - зачет				Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью оценки результатов практических работ.

Перечень тем практических работ

1. Расчет коэффициента пропускания одномерного квантового потенциального барьера типа «ступенька».
2. Моделирование туннельного эффекта на примере одномерного квантового прямоугольного барьера.
3. . Расчет спектра разрешенных энергетических уровней одномерной квантовой прямоугольной ямы конечной глубины.
4. Моделирование энергетического спектра сверхрешетки с использованием модели Кронига-Пенни.
5. Расчет зависимости энергии от волнового вектора в сверхрешетке в приближении сильной связи с использованием модели Кронига-Пенни.
6. Моделирование эффекта резонансного туннелирования на примере одномерной структуры из двух квантосвязанных прямоугольных барьеров.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

Перечень вопросов к зачету

1. Основные типы низкоразмерных структур. Квантовые ямы, нити, точки. Полупроводниковые сверхрешетки.
2. Полупроводниковые структуры с двумерным электронным газом (МДП-структуры, одиночные и двойные гетероструктуры, δ -слои).
3. Принцип размерного квантования.
4. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов.
5. Энергетический спектр электронов в двумерных системах.
6. Энергетический спектр электронов в одно- и нульмерных системах.
7. Плотность квантовых состояний в двумерной электронной системе.
8. Плотность состояний в одномерной и нульмерной электронных системах.
9. Концентрация носителей заряда в двумерной системе.
10. Концентрация носителей заряда в одномерной системе.
11. Осцилляции плотности состояний в тонкой пленке при изменении её толщины. Размерные явления.
12. Энергетический спектр и плотность состояний двумерных электронных систем в квантующем магнитном поле.
13. Эффект резонансного туннелирования. Условия реализации туннелирования с единичной вероятностью.

14. ВАХ двухбарьерной квантовой структуры. Резонансно-туннельные диоды и транзисторы.
15. Резонансно-туннельных транзистор на квантовой точке.
16. Осцилляции Ванье-Штарка в полупроводниковых сверхрешетках. ВАХ многобарьерных квантовых структур.
17. Резонансное туннелирование в сверхрешетках. ВАХ многобарьерных квантовых структур.
18. Кулоновская блокада туннелирования. Условия наблюдения эффекта.
19. ВАХ асимметричной системы из двух туннельных контактов в условиях кулоновской блокады. Механизм образования ступеней «кулоновской лестницы».
20. Одноэлектроника (основные идеи).
21. Спинтроника. Общая характеристика устройств, использующих спин-эффекты.
22. Гигантское магнетосопротивление и туннельное магнетосопротивление. Спиновый клапан.
23. Биполярный спиновый транзистор.
24. Спиновый полевой транзистор.
25. Эффект «всплеска» дрейфовой скорости. Баллистический транспорт.
26. Устройства, использующие особенности баллистического транспорта в двумерных структурах.
27. Геторолазеры с квантовыми ямами и квантовыми точками.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических работ.

Каждому обучающемуся задаются вопросы по всем разделам спецкурса.

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«не зачтено».

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «зачтено» выставляется при полном соответствии работы обучающихся всем вышеуказанным показателям: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;

- оценка «не зачтено» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.