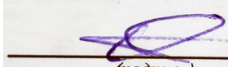


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике
в ЯФ ФГБУН «Физико-технологический институт» РАН

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета


(подпись)

И. С. Огнев

« 23 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Нанoeлектроника»

Направление подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «30» марта 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от « 25 » апреля 2023
года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Нанoeлектроника» являются:

- ознакомление студентов с основными идеями и техническими решениями, используемыми в современной интегральной электронике;
- формирование знаний в области теоретических и технологических принципов нанoeлектроники, лежащих в основе построения современных информационных систем;
- овладение навыками в оценке современных технологических методов и возможностей их использовании в нанoeлектронике.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Нанoeлектроника» является одной из основных дисциплин профессионального цикла и относится к базовой его части. Теоретической основой нанoeлектроники являются фундаментальные дисциплины современной классической и теоретической физики (все дисциплины курса общей физики, квантовая механика, статистическая физика, физика полупроводников и тонких плёнок и др.). Экспериментальной основой нанoeлектроники являются современные технологические методы, позволяющие в едином процессе реализовывать большое число приборов и компонентов, т.е. на практике осуществить принцип высокой степени интеграции элементов ИС. Дисциплина «Нанoeлектроника» дает знания, умения и способствует овладению навыками по отношению к основам соответствующей научной области, является итоговой дисциплиной базовой части профессионального цикла, а также предполагает дальнейшее углубленное изучение в соответствующем курсе магистерской программы по направлению 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника. Элементы профессиональных компетенций, формируемых при освоении дисциплины «Нанoeлектроника», являются значимыми для будущей профессиональной деятельности выпускника бакалавриата.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Общепрофессиональные компетенции		
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального	ИД_ПК-1.1. Умеет строить физические и математические модели процессов, приборов, блоков в области электроники и нанoeлектроники.	Знать: <ul style="list-style-type: none">• новые материалы и возможности их применения в перспективных нанотехнологиях для производства электроники;• физические ограничения в технологии производства интегральных схем (ИС), а также ограничения на размеры элементов, накладываемые механизмом их работы.• характерные масштабы величин, основные

назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования		физические закономерности и константы относящиеся к этой дисциплине
	ИД_ПК-1.2. Обладает навыками компьютерного моделирования.	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • производить экспертную оценку существующих и перспективных моделей, материалов и технологий в целях их использования для создания современных элементов, приборов и устройств нанoeлектроники. • применять знания, полученные при изучении курсов физических и математических дисциплин при рассмотрении вопросов, связанных с теоретическими, экспериментальными и технологическими аспектами разработки и изготовления нанoeлектронных приборов и устройств. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основами знаний в области базовых и типовых технологических операций современной нанoeлектроники, владеть терминологией изучаемой дисциплины, навыками представления приборов микроэлектроники в рамках современных моделей; • компетенциями для проведения экспертной оценки существующих и перспективных моделей, технологий, элементов и устройств нанoeлектроники.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5** зачетных единиц, **180** академических часов.

Структура дисциплины

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					Самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Физические основы и технологические ограничения	8	2	6	6	1		14	Задания для самостоятельной работы

	нанoeлектроники								Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
2	Системы пониженной размерности. Эффекты короткого канала. Резонансное туннелирование.	8	3	12	10	1		21	Задания для самостоятельной работы Контрольная работа. Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
3	Одноэлектроника. Электронный транспорт в нанoeлектронике.	8	3	8	6	2		18	Задания для самостоятельной работы Контрольная работа. Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
4	Современные литографические методы в нанoeлектронике	8	2	4	8	1		16	Задания для самостоятельной работы Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
						2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего		10	30	30	7	0,5	102,5	

Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Физические основы и технологические ограничения нанoeлектроники	Основные тенденции развития твердотельной электроники. Характерные параметры. Закон Мура. Физические ограничения в технологии производства СБИС. Физические ограничения на размеры элементов, накладываемые механизмом их работы. Ограничение интеграции элементов. Новые материалы и принципы конструирования в перспективных технологиях. Области применения квантово-размерных структур. Перспективы развития нанотехнологии.
2.	Системы пониженной размерности. Эффекты короткого канала. Резонансное туннелирование.	Основные понятия физики размерного квантования. Понятие размерного квантования. Уравнение Шредингера и его решения для простейших случаев ограничения одномерного движения носителей: прямоугольная и треугольная квантовые ямы. Соотношения размеров элементов и длин вол носителей. Энергетический спектр систем пониженной размерности. Волновые функции. Плотность состояний двумерных, одномерных, нульмерных систем. Короткоканальные эффекты в МДП структурах: сущность и проявления. Механизмы паразитных утечек в короткоканальных транзисторах. Законы масштабирования. Способы подавления эффектов короткого канала. Резонансное туннелирование в двухбарьерной структуре. Коэффициенты прохождения и отражения.

		Вольтамперная характеристика двухбарьерной туннельной структуры. Квазистационарные состояния.
3	Одноэлектроника. Электронный транспорт в нанoeлектронике.	Одноэлектроника. Квантовое туннелирование. Теория кулоновской блокады. Кулоновская лестница. Классификация и конструкции одноэлектронных приборов. Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров. Интерференция электронных волн. Магнитный эффект Ааронова-Бома. Универсальная флуктуация проводимости. Механизм квантовой проводимости в системах пониженной размерности.
4.	Современные литографические методы в нанoeлектронике	Литографические методы нового поколения в нанoeлектронике. Технология и материалы традиционной литографии (проекционная и контактная литографии). Динамика развития литографических методов. Литография предельного ультрафиолета. Иммерсионная литография. Электронно лучевая литография. Метод прямого рисования. Метод печати. Метод на основе СТМ. Безмасочные методы формирования наноструктур.

4.3 Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Введение в сканирующую зондовую микроскопию.

В ходе выполнения лабораторной работы студент знакомится с физическими основами метода сканирующей зондовой микроскопии, возможностями и характеристиками сканирующего зондового микроскопа, требованиями к образцам. Проводит измерения латеральных размеров и высот рельефа по имеющимся изображениям в программном обеспечении сканирующего зондового микроскопа.

Лабораторная работа 2. Подготовка к проведению измерений методом сканирующей зондовой микроскопии.

В ходе выполнения лабораторной работы студент проверяет и устанавливает образец, подготавливает, проверяет и устанавливает иглу, служащую зондом. Знакомится с программным обеспечением микроскопа, выбирает рекомендуемый для тестовых запусков режим.

Лабораторная работа 3. Получение изображений методом сканирующей туннельной микроскопии.

В ходе выполнения лабораторной работы студент осуществляет плавный подвод и парковку иглы, получает тестовые изображения в различных режимах. Использует приемы уменьшения искажений кадра – наложение двух кадров, выбор оптимальных скорости сканирования и количества измерений в точке. Из снятого кадра восстанавливается трехмерное изображение.

Лабораторная работа 4. Введение в атомно-силовую микроскопию.

В ходе лабораторной работы студент знакомится с устройством атомно-силового микроскопа, принципом работы микроскопа, схемой хода лазерного луча, характеристиками кантилевера и требованиями к исследуемым образцам.

Лабораторная работа 5. Получение изображений методом атомно-силовой микроскопии.

В ходе лабораторной работы студент подготавливает и устанавливает образец в атомно-силовой микроскоп, юстирует оптическую систему, получает АСМ-изображение в

различных режимах. На полученном изображении проводятся измерения латеральных размеров особенностей и высоты рельефа.

Лабораторная работа 6. Калибровка сканирующего туннельного микроскопа и атомно-силового микроскопа.

В ходе выполнения лабораторной работы студент устанавливает тестовый образец в микроскоп, осуществляет съемку в рекомендуемом режиме. По полученному изображению калибровочного образца делается вывод о наличии и степени таких искажений, как неверное увеличение по осям x и y , отклонение от прямоугольности сканирования, неверный масштаб высоты, крип-эффект, краевые искажения. Проводится калибровка микроскопа, после чего осуществляется повторная съемка тестового образца. Искажения, устранение которых с помощью калибровки невозможно, устраняются индивидуально для каждого кадра методами пост-обработки изображений.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

Лабораторные работы - организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов и физических явлений.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены тексты конспектов лекций в виде презентаций по всем темам дисциплины;
- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;

- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются: для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- графический редактор Inkscape (Freeware);
- графический редактор GIMP (Freeware);
- Adobe Acrobat Reader;

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Драгунов, В. П., Основы наноэлектроники : учеб. пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин, М., Физматкнига, Логос, 2006, 494с
2. Щука, А. А., Наноэлектроника : учеб. пособие для вузов / А. А. Щука ; под ред. Ю. В. Гуляева, М., Физматкнига, 2007, 463с
3. Чурилов, А. Б., Введение в наноэлектронику : учеб. пособие для вузов / А. Б. Чурилов, Ярославль, ЯрГУ, 2002, 132с

б) дополнительная литература

1. Борисенко В. Е. Наноэлектроника: теория и практика: учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина.—3-е изд. (эл.).— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.—366 с
2. Смирнов, Ю. А., Основы нано- и функциональной электроники : учеб. пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. - 2-е изд., испр., СПб., Лань, 2013, 310с
3. Зебрев Г. И. Физические основы кремниевой наноэлектроники : учебное пособие для вузов / Г. И. Зебрев. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 240 с.
4. Мартинес-Дуарт, Дж.М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж.М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф.Агулло-Руеда Издание 2-е, дополненное Москва:Техносфера, 2009. -368с.
5. Краснопевцев Е. А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела : учебное пособие / Е.А. Краснопевцев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 355 с.
6. Наноэлектроника. Часть 1. Введение в наноэлектронику / Под ред. А.А. Орликовского. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 720 с. (Сер.Электроника)

7. Technology Roadmap for Nanoelectronics. // European Commission IST Programme. Microelectronics Advanced Research Initiative. MELARI NANO – Editors: R. Compañó, L. Molenkamp, D. J. Paul, 2000, 81 P.
8. В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский - Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: Учебное пособие. 2-е изд., СПб.: «Лань», 2008.— 336 с
9. Ю.В Гуляев, В.Б.Сандомирский, А.А.Суханов, Ю.Я Ткач - Физических ограничения минимальных размеров элементов современной микроэлектроники. // УФН, 1984, Т.144, ВЫП.3, С. 475-495
10. К.Пирс, А.Адамс, Л.Кац, Дж.Цай, Т.Сейдел, Д.Макгиллис. Под редакцией С.Зи. - Технология СБИС В 2-х книгах. М.: «Мир», 1986.— 404 с.+ 453с.

8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- лабораторное оборудование Центра коллективного пользования «Диагностика микро и наноструктур»
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Доцент базовой кафедры нанотехнологий в электронике
в ЯФ ФГБУН ФТИАН им. К. А. Валиева РАН, к.ф.-м.н.

_____ А.Б.Чурилов
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Нанoeлектроника»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

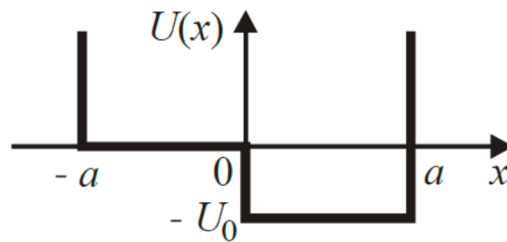
**1. Типовые контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе
текущего контроля успеваемости**

**1.1. Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей
аттестации**

При проведении практических занятий и подготовке материалов контрольных мероприятий используются задания и задачи из пособий [1,2] основной и [4,5] дополнительной литературы.

Примеры задач для контрольной работы

1. Для частицы в потенциальной яме $U(x) = \begin{cases} Ax, & x > 0 \\ -Bx, & x < 0 \end{cases}$ где $A, B > 0$, получить допустимые значения энергии.
2. Доказать, что для состояний $\Psi_2(x) = \Psi_1(x) \exp\left(i \frac{p_0}{\hbar} x\right)$ средние значения координаты и импульса связаны соотношениями $\bar{x}_2 = \bar{x}_1$ и $\bar{p}_2 = \bar{p}_1 + p_0$
3. Получить функции состояний и уравнение для энергии частицы $E > 0$ и $-U_0 < E < 0$ в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Рассмотреть предел $U_0 \rightarrow 0$.



4. Для линейного гармонического осциллятора найти среднее значение кинетической энергии \bar{T}_n .
5. Для двумерного, симметричного гармонического осциллятора найти волновые функции и доказать $E_n = \hbar\omega(n+1)$ и $g_n = n+1$ – кратность вырождения, где $n = 0, 1, 2, \dots$
6. Показать, что энергетические уровни трехмерного твердого тела в магнитном поле \vec{B} (направленном вдоль оси z) описываются уравнением

$$E(n, k_z) = E(n) + E(k_z) = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega_c + \frac{\hbar^2 k_z^2}{2m^*}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

где $\omega_c = \frac{eB}{m^*}$ — так называемая циклотронная частота (предполагается, что эквивалентные поверхности в k -пространстве сферически симметричны, т. е. эффективная масса представляет собой скаляр).

7. Покажите что концентрация n_{2D} электронов в двумерной квантовой системе определяется выражением

$$n_{2D} = \frac{kTm^*}{\pi\hbar^2} \sum_n l_n \left(1 + e^{(E_F - E_n)/kT} \right)$$

8. Рассчитать положение уровня Ферми модулированно-легированной гетероструктуры вида AlGaAs/GaAs с плотностью носителей $n_{2D} = 10^{12} \text{ см}^{-2}$ при нормальных температурах, предполагая, что все электроны локализованы в первой подзоне.
9. Некогерентный переход через двойной барьер. Определить коэффициент пропускания двойного барьера состоящего из двух последовательно расположенных на близком расстоянии туннельных барьеров. Показать что полное сопротивление такой системы

$$R = \frac{h}{2e^2} \left(1 + \frac{|r_1|^2}{|t_1|^2} + \frac{|r_2|^2}{|t_2|^2} \right)$$

Сравнить полученный результат с классическим выражением, получаемым по закону Ома.

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Примеры тестовых заданий

1. **Что означает приставка «нано»?**
 - a. одна миллионная
 - b. одна миллиардная
 - c. одна десятая
2. **Наночастицы принадлежат одному из измерений:**
 - a. от одного до ста нанометров
 - b. от одного до двух нанометров
 - c. от одного до миллиарда нанометров
3. **Нанoeлектроника занимается созданием интегральных схем с размерами:**
 - a. менее ста нанометров
 - b. менее десяти тысяч нанометров
 - c. менее миллиметра
4. **Светодиоды в отличии от обычных ламп накаливания хороши тем, что они**
 - a. дают много «тепла»
 - b. дешевые
 - c. экономичные
5. **Квантовая точка – это...**
 - a. объект на евклидовой плоскости
 - b. точка кипения
 - c. нанокристалл полупроводника
6. **Что такое в буквальном переводе термин "форсайт", используемый для построения "дорожных карт" нанотехнологий?**
 - a. ускорение
 - b. взгляд в будущее
 - c. ретроспективный анализ
7. **Графен – это**

- a. алмазная пленка
 - b. углеродный наноматериал
 - c. разновидность наноробота
8. **Слово фуллерен произошло от**
- a. греческого «яйцо»
 - b. клингонского «мяч»
 - c. фамилии архитектора
9. **Какими инструментами пользуются нанотехнологи?**
- a. оптическим микроскопом
 - b. зондовым микроскопом
 - c. дрелью
11. **Термин «нанотехнология» впервые ввел в оборот:**
- a. Ричард Фейнман
 - b. Норио Танигути
 - c. Эрик Дрекслер
12. **Что такое способ получения наночастиц «сверху вниз»?**
- a. объединяя отдельные атомы, получают наночастицу
 - b. исходный материал измельчают до тех пор, пока его частицы не станут наноразмерными
 - c. из исходного материала отсекая ненужное, выделяют наночастицу
13. **Что такое способ получения наночастиц «снизу вверх»?**
- a. исходный материал измельчают до тех пор, пока его частицы не станут наноразмерными
 - b. из исходного материала исключают ненужное для получения наночастиц
 - c. наночастицы получают, объединяя отдельные атомы
13. **Какие ученые занимаются изучением и созданием наноматериалов?**
- a. философы и филологи
 - b. социологи и экономисты
 - c. физики, химики, биологи и специалисты по компьютерным наукам
14. **Фуллерен состоит из атомов:**
- a. кислорода
 - b. водорода
 - c. углерода
15. **Фуллерены и углеродные нанотрубки получают из:**
- a. графита
 - b. алмаза
 - c. бумаги
16. **Наночастицы какого металла эффективно борются с бактериями и вирусами?**
- a. железа
 - b. серебра
 - c. алюминия
17. **Микросхемы создают, формируя рельеф:**
- a. на золотой пластине
 - b. на кремниевой пластине
 - c. на деревянной пластине

Список вопросов к экзамену:

1. Физические ограничения в технологии производства ИС. Размазка края экспонированной области. Тепловое расширение маски и ИС. Сферическая абберация электронного луча.
2. Физические ограничения в технологии производства ИС. Рассеяние луча в резисте и в полупроводнике. Влияние флуктуаций примеси. Статистическая воспроизводимость

- технологического процесса.
3. Физические ограничения, накладываемые механизмом работы элементов ИС. Классификация приборов по размерам. Скейлинг параметров.
 4. Физические ограничения, накладываемые механизмом работы элементов ИС. Ограничения электрофизических параметров. Ограничения на размеры элементов, обусловленные сильными электрическими полями.
 5. Короткоканальные эффекты в МДП транзисторах, как элементах СБИС
 6. Ограничения интеграции элементов. Предельная степень интеграции. Теплофизические ограничения на рост интеграции.
 7. Прямоугольная квантовая яма. Треугольная яма.
 8. Квантовые состояния в нитях и точках.
 9. Плотность состояний в структурах пониженной размерности.
 10. Резонансное туннелирование. Двухбарьерная структура. Коэффициенты прохождения и отражения.
 11. Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров. Фазовая интерференция электронных волн.
 12. Эффект Ааронова-Бома и его экспериментальное наблюдение. Универсальная флуктуация проводимости в примесных полупроводниках.
 13. Вольтамперные характеристики низкоразмерных структур. Трехбарьерные полупроводниковые структуры и сверхрешетки. Зонная диаграмма и вольтамперная характеристика при резонансном туннелировании
 14. Одноэлектроника. Теория кулоновской блокады.
 15. Одноэлектроника. Кулоновская лестница.
 16. Классификация и конструкции одноэлектронных приборов.
 17. Микролитография. Технология и материалы литографии. Контактная печать и печать с зазором. Проекционная печать. Совмещение.
 18. Рентгеновская литография. Элементы рентгеновской оптики, источники излучения, разрешающая способность.
 19. Электронно-лучевая нанолитография «прямого рисования». Методы на основе СТМ и АФМ. Методы печати.
 20. Современные технологические методы создания наноструктур и структур пониженной размерности (эпитаксия, селективное травление, модификация ионными пучками)
 21. Приборы и устройства нанoeлектроники. Общая характеристика. Конструкции и принципы работы.
 22. Нанотранзистры и приборы нанооптоэлектроники
 23. Нелитографические методы создания наноструктур и систем пониженной размерности

Правила выставления оценки на экзамене.

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично» выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом физики полупроводников; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию физики полупроводников и физики конденсированного состояния

Оценка «Хорошо» выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах физики полупроводников, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

Допускается возможность один раз поменять экзаменационный билет, но при этом итоговая оценка автоматически снижается на один балл.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Нанoeлектроника»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на выполнение самостоятельной работы. В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала;
- обращать внимание на определения понятий, формулировки законов и их математическое выражение, положения, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений.

Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой. В случаях пропуска занятия студенту необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме во время индивидуальных консультаций. Следует помнить, что лекционный конспект является не материалом для подготовки, а скорее развернутым планом для дальнейшей самостоятельной проработки материала

Практические занятия – это одна из активных форм учебного процесса. Большая часть тем дисциплины носит практический характер, т.е. предполагает решение задач, анализ практических ситуаций. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо освоить теоретическую основу по теме практического занятия, быть готовым к дискуссионному обсуждению.

Индивидуальное домашнее задание или контрольная работа представляют собой изложение в письменном виде результатов теоретического анализа или решение задачи по определенной теме. При необходимости проводятся консультации по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде проверки выполнения заданий для внеаудиторного решения и контрольной работы.

Для самостоятельной работы особенно рекомендуется использовать учебную литературу, с подробно разобранными решениями задач по всем изучаемым разделам. Помимо рекомендуемых в списке основной и дополнительной литературы к таковым можно отнести:

1. Краснопевцев Е. А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела : учебное пособие / Е.А. Краснопевцев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 355 с.
2. В.А.Лапшинский (Ред.) - Нанoeлектроника. Сборник задач и заданий с ответами, решениями / М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 108 с.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniylar.ac.ru/opac/bk_login.php) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ

(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.