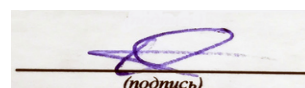


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике
в ЯФ ФГБУН ФТИАН им. К. А. Валиева РАН

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Нанотехнологии в электронике»

Направление подготовки
11.04.04 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 **Нанотехнологии в электронике** являются:

- формирование знаний в области теоретических и технологических принципов наноэлектроники, составляющих основу для системотехнических и схмотехнических решений при построении современных информационных систем;
- ознакомление студентов с основными идеями и техническими решениями, используемыми в современной интегральной электронике;
- овладение умениями и навыками в оценке функциональных, количественных и качественных характеристик современных технологических методов и их использовании в наноэлектронике.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **Нанотехнологии в электронике** включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части учебного плана при освоении образовательной программы по профилю подготовки «Интегральная электроника и наноэлектроника».

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 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.	ИД_ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники.	Знать: физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия микроэлектронных устройств и систем.
	ИД_ПК-1.2. Осуществляет расчет предельно-допустимых и предельных режимов работы изделий микро- и наноэлектроники.	Уметь: формулировать и решать задачи, грамотно использовать математический аппарат и численные методы для анализа и синтеза микроэлектронных устройств и систем.
	ИД_ПК-1.3. Демонстрирует умение выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники.	Владеть: математическим аппаратом для решения задач теоретической и прикладной микроэлектроники, методами исследования и моделирования объектов микроэлектроники.
ПК-4 Способен к организации и про-	ИД_ПК-4.1. Знает способы организации	Знать: основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития электро-

ведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	и проведения экспериментальных исследований.	ники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники; основные проблемы в своей предметной области, методы и средства их решения. Уметь: выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения поставленных задач научного исследования.
	ИД_ПК-4.2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования.	Знать: современные экспериментальные методы и средства в области научного исследования. Владеть: навыками обобщения, анализа и идентификации новых проблем, постановки цели и выбора путей её достижения в области микро- и нанoeлектроники
	ИД_ПК-4.3. Демонстрирует навыки проведения исследований с применением современных средств и методов.	Уметь: выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения поставленных задач научного исследования. Владеть: основными навыками получения, систематизации и анализа научно-технической информации; навыками интерпретации результатов исследований, полученных отдельными методами.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

4.1 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 кон- троля успеваемости Форма промежуточ- ной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестацион- ные испыта-		
	1. Физические основы и технологические ограничения нанoeлектроники		4			1		9	Задания для самостоя- тельной работы Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle

2. Методы формирования диэлектрических, полупроводниковых и проводящих слоев в технологии микро- и нанoeлектроники		4		10	1		10	Задания для самостоятельной работы Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
3. Формирование топологии элементов и структур в технологии нанoeлектроники		4		10	1		10	Задания для самостоятельной работы Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
4. Методы диагностики и визуализации в нанотехнологии и нанoeлектронике		4		12	1		10	Задания для самостоятельной работы Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
5. Элементы, приборы и устройства нанoeлектроники. Микро- и наномеханические системы		2		4	1		10	Задания для самостоятельной работы Тест для самопроверки ЭУК в LMS Moodle
					2	0,5	33,5	Экзамен
Всего за 1 семестр		18		36	7	0,5	82,5	
Всего		18		36	7	0,5	82,5	

Содержание разделов дисциплины

Физические основы и технологические ограничения нанoeлектроники

Современное состояние технологии интегральной электроники: материалы, процессы, приборы. Специфика нанотехнологии. Степень интеграции. Закон Мура. Основные понятия физики размерного квантования. Понятие размерного квантования. Соотношения размеров элементов и длин волн носителей. Энергетический спектр систем пониженной размерности. Волновые функции. Плотность состояний двумерных, одномерных, нульмерных систем. Проблемы масштабирования размеров элементов ИМС при переходе от «микро» к «нано»: ограничения и недостатки традиционных технологий, квантовые ограничения.

Методы формирования диэлектрических, полупроводниковых и проводящих слоев в технологии микро- и нанoeлектроники

Методы нанесения тонких пленок и функциональных слоев в микро и нанотехнологии: термическое окисление, напыление, химическое осаждение из газовой фазы, эпитаксия. Плазмостимулированные процессы осаждения пленок. Термическое окисление. Локальное окисление. Молекулярно-лучевая, МОС-гидридная эпитаксия. Гетероэпитаксия. Процессы самоорганизации при эпитаксии и взаимодействии ионов с поверхностью.

Формирование топологии элементов и структур в технологии микро- и нанoeлектроники.

Фотолитографический метод формирования топологического рисунка элементов интегральных микросхем. Фундаментальные и технические ограничения фотолитографии. Современные литографические методы с использованием глубокого и сверхглубокого ультрафиолета. Рентгенолитография. Проекционные методы и прямое рисование. Электронно-лучевая литография. Ионно-лучевая литография. Лазерная литография. Нанотиснение и нанопечать.

Нелитографические методы формирования наномасок и наноструктур. Формирование квантовых точек и проволок. Зондовые методы и их использование в нанотехнологии. Углеродные нанотрубки, пористые материалы. Процессы самоорганизации и наноструктурирования. Технологии травления, жидкостные методы и «сухое» травление. Параметры процесса (селективность, анизотропия, равномерность) и методы их оптимизации.

Плазменные процессы формирования микро- и наноструктур на поверхности кремния, диоксида кремния, используемые в технологии нанoeлектроники и микро- и наносистемной техники. Методы травления и очистки: ионное травление, ионно-химическое травление, плазмохимическое травление.

Ионные пучки в микро- и нанoeлектронике. Ионная имплантация, применение, проблемы и перспективы. Ионный синтез, получение скрытых диэлектрических слоев. Синтез нестехиометрических структур содержащих ансамбли нанокластеров. Структурирование поверхности, использование FIB-технологии.

Методы диагностики и визуализации в нанотехнологии и нанoeлектронике

Методы визуализации нанообъектов. Классификация микроскопов и их возможностей. Оптический микроскоп. Электронная растровая и просвечивающая микроскопии.

Зондовые методы. Сканирующий туннельный микроскоп. Атомно-силовой микроскоп.

Методы спектроскопии в диагностике наноструктур. Оже-спектроскопия, вторичная-ионная масс спектроскопия (ВИМС), времяпролетная масс спектроскопия (ION TOF).

Оптическая спектроскопия. Рентгеновская дифрактометрия.

Элементы, приборы и устройства нанoeлектроники. Микро- и нано-механические системы

Приборы спинтроники. Магнитосопротивление. Спин-вентильные и спин-туннельные структуры. Датчики магнитного поля. Концепция магнитной памяти (MRAM) на эффекте гигантского магнитосопротивления. Способы чтения и записи информации.

Фуллерены, графены, углеродные нанотрубки. Строение, физические свойства методы синтеза, методы исследования наноуглеродных структур. Применение нанотрубок и графена в электронике, химии, медицине, нано транзисторные структуры, наносенсоры, лекарства будущего.

Микро- и наносенсоры и актюаторы. Примеры реальных микросенсоров. Интегральное рассмотрение инерциальных микросенсоров. Энергетические характеристики физических процессов и явлений. Электростатический актюатор. Типы, характеристики. Пьезоактюаторы. Термические актюаторы. Магнитные актюаторы. Микророботы.

Плазмонные эффекты в наноструктурах. Технология приготовления наноструктур, представления о плазмонах, теоретические аспекты, дисперсионные кривые, приложения для использования в электронике.

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.

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 для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- графический редактор Inkscape (Freeware);
- графический редактор GIMP (Freeware);
- Adobe Acrobat Reader;
- для графического представления результатов измерений рекомендуется использовать программы Advanced Grapher и Open/Libre Office Calc, распространяемые свободно.
- для обработки результатов измерений предлагается использовать программы Octave, Scilab, FreeMat, O-matrix и Maxima, распространяемые свободно.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:
Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

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

б) основная литература:

- 1.1. Головин Ю.И. Основы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Ю.И. Головин. — М. : Машиностроение, 2012. — 656 с. <http://www.iprbookshop.ru/18532.html>
- 1.2. Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники: учеб. пособие для вузов. / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин; УМО по образованию в обл. радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации - М.: Физматкнига : Логос, 2006. - 494 с.

б) дополнительная литература

- 2.1. Щука А. А. Нанoeлектроника: учеб. пособие для вузов. / А. А. Щука; под ред. Ю. В. Гуляева ; УМО вузов РФ по образованию в обл. прикладной математики и физики М-ва образования и науки РФ - М.: Физматкнига, 2007. - 463 с.
- 2.2. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника: учеб. пособие для вузов. / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина; М-во образования Республики Беларусь - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 223 с.
- 2.3. Смирнов Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники: учебное пособие. / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов - 2-е изд., испр. - СПб.: Лань, 2013. - 310 с.
- 2.4 Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров: учебник для вузов. / В. Н. Черняев; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1987. - 464 с.

7. 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.

(подпись)

А.Б.Чурилов

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Нанотехнологии в электронике»**

**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

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

Пример решения задачи по теме «Технология окисления полупроводников»

Теоретическое введение

Формулу, описывающую толщину оксидного слоя, получим, интегрируя дифференциальное уравнение

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F}{N} = \frac{kC^*/N}{1 + \frac{k}{h} + \frac{kx}{D}}$$

в пределах от x_i до x_{ox} и от 0 до t :

$$x_{ox} = \frac{A}{2} \left[\left(1 + \frac{t + \tau}{A^2/(4AB)} \right)^{1/2} - 1 \right]$$

где

$$A = \frac{2D}{k}; \quad B = \frac{2DC_0}{N}; \quad \tau = \frac{x_i^2 + Ax_i}{B}$$

Параметр τ - это время, которое требуется для создания оксидного слоя, имеющего начальную толщину x_i при $t = 0$.

Упражнение 1.1. Покажите, что выражение для x_{ox} является решением исходного уравнения в указанных пределах интегрирования.

Упражнение 1.2. Убедитесь, что выражение $(t + \tau)B = x_i^2 + Ax_i$, приводится к виду $x_i = (Bt)^{1/2}$ (параболический закон с параметром B , называемым квадратичной скоростью), если время t достаточно велико ($t \gg \tau$).

Убедитесь, что если время t мало, то $x_i = \frac{B}{A}(t + \tau)$ где отношение B/A называют линейной скоростью.

П о я с н е н и е : предельный случай параболического закона соответствует условиям, когда процесс наращивания слоя определяется диффузией; в случае линейного закона скорость наращивания определяется реакцией оксидирования.

Примеры решения задачи по теме «Диффузия в полупроводниках»

Упражнение 2.1.

Диффузионные константы лития в кремнии равны $D_0 = 2,3 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{сек}$ и $Q = 0,65 \text{ эВ}$. Рассчитать температуру, при которой атом лития, растворенный в кремнии, будет совершать один прыжок за одну секунду.

РЕШЕНИЕ.

Частота перемещения атома f связана с коэффициентом диффузии следующим соотношением: $D = \frac{\delta^2 \cdot f}{6}$. С другой стороны $D = D_0 e^{-\frac{Q}{kT}}$. Тогда $D_0 e^{-\frac{Q}{kT}} = \frac{\delta^2 f}{6}$. После решения полученного уравнения относительно T

$$T = \frac{Q}{k \cdot \ln \frac{6D_0}{\delta^2 \cdot f}}$$

и подстановки численных значений, получим искомую температуру

$$T = \frac{0,65 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \ln \frac{6 \cdot 2,3 \cdot 10^{-7}}{(5,43 \cdot 10^{-10})^2}} \approx 260 \text{ K}$$

ОТВЕТ: 260 К.

Упражнение 2.2.

Показать, что при реактивной диффузии закон роста реактивного слоя описывается уравнением: $y^2 = 2pt$, где y - толщина слоя; p - параметр параболы.

Упражнение 2.3.

Пусть энергия, требуемая для перемещения атома натрия из внутренней части кристалла на поверхность, равна 1эВ. Вычислить теплоемкость металла при комнатной температуре, обусловленную наличием в нем дефектов Шоттки.

ОТВЕТ: $3,7 \times 10^{-10} \text{ Дж}/(\text{кмоль} \times \text{град})$.

Список вопросов к экзамену по дисциплине «Нанотехнологии в электронике».

1. Исторические этапы возникновения и развития физики как науки. Истоки электротехники и электроники. История развития твердотельной электроники.
2. Общая характеристика состояния современной электроники и нанoeлектроники и перспектив развития электронной техники.
3. Традиционные микротехнологии и их место в современной нанoeлектронике. Два подхода в развитии нанотехнологии - «сверху-вниз» и «снизу-вверх» и их реализация в современной электронике. Скейлинг в микротехнологии.
4. Термическое окисление. Модель Дила-Гроува.
5. Результаты расчетов в модели Дила-Гроува для малых и больших времен окисления.
6. Кинетика роста окисла кремния. Роль и влияние параметров процесса окисления.
7. Оборудование для термического окисления. Структура и свойства пленок окисла.
8. Скрытые диэлектрические слои. Технологии изготовления структур «кремний на диэлектрике»

9. Толстые окислы. Пористый кремний и его структурные модификации. Окисление пористого кремния. Примеры использования FIPOS и LOCOS процессов в микротехнологии.
10. Термическая диффузия примеси. Физические основы процесса диффузии. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Модели атомных механизмов диффузии.
11. Уравнение диффузии. Законы Фика.
12. Диффузия из полуограниченной области. Сравнение случаев ограниченного и неограниченного источников.
13. Оборудование для проведения процесса диффузионного легирования. Твердотельные, жидкофазные и газообразные диффузионные источники.
14. Технология ионного легирования. Общая характеристика метода ионной имплантации.
15. Упругие и неупругие столкновения. Характеристики пробегов ионов. Расчет пробегов ионов.
16. Характеристики распределения внедренной примеси по глубине.
17. Ионный имплантер. Общая схема и характеристики оборудования для ионной имплантации.
18. Быстрый термический отжиг. Варианты реализации, характеристики и применение. Контактные и бесконтактные методы измерения температуры.
19. Классификация процессов травления микроструктур. Изотропное и анизотропное травление. Bosh-процесс.
20. Физика ионного травления. Характеристики процессов распыления при различной энергии ионов.
21. Коэффициент распыления материалов. Энергетические и угловые зависимости.
22. Технологическое оборудование для ионного травления. Ионные источники.
23. Фокусированное ионное травление. Общие принципы и применение в технологии. Разрешающая способность процесса.
24. Литографические процессы в микротехнологии. Контактная и проекционная печать. Взрывная литография. Разрешающая способность литографического процесса.
25. Бесконтактная печать (печать с зазором). Зависимости качества переноса рисунка от длины волны и величины зазора.
26. Характеристики источников излучения: сравнение эволюции длина волны экспонирующего излучения и топологической нормы технологического процесса. Фазосдвигающие шаблоны. Коррекция эффекта близости
27. Общая характеристика оборудования для литографии. Сканеры и степперы.
28. Современные литографические методы и их применение в производстве. Ультрафиолетовая литография. Иммерсионная литография. Мировые лидеры в производстве литографического оборудования.
29. Проекционная электронно-лучевая и рентгеновская литографии. Нанопечать.
30. Безмасочные методы высокого разрешения и их использование в нанотехнологии. Нанопористые структуры. Использование электронного и ионного пучков в микротехнологии для формирования рисунка.
31. Современные технологические методы нанесения кристаллических тонкопленочных структур. Молекулярно-пучковая и газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Атомно-слоевое осаждение.
32. Актюаторы как преобразователи энергии. Электростатические актюаторы. Электромагнитные, пьезоэлектрические, термические актюаторы. Области применения актюаторов. Гироскопы на электростатических, электромагнитных и пьезо приводах.
33. Фуллерены, графены, углеродные нанотрубки. Строение, физические свойства методы синтеза, методы исследования наноуглеродных структур. Применение нанотрубок и графена в электронике, химии, медицине, нано транзисторные структуры, наносенсоры, лекарства будущего.
34. Физические основы и методы тестирования и контроля в современной нанoeлектронике.
35. Изобретение электронного микроскопа и развитие электронной микроскопии, как совре-

- менного аналитического и технологического метода. Э.Руска - Нобелевская премия по физике 1986 г.
36. Сканирующий туннельный микроскоп. Изобретение Г.К. Биннига и Г. Рорера. Атомно-силовая микроскопия.
 37. Наноинженерия квантово-размерных структур в современной электронике. Квантовые ограничения. Квантовые нити и точки.
 38. Полупроводниковые пленки и структуры с механическими напряжениями. Полупроводниковые гетероструктуры. Ж.И. Алферов и Г.Кремер – Нобелевская премия по физике 2000 г.

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 соответствует 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 «Нанотехнологии в электронике»

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 рекомендуется использовать учебную литературу, в особенности позиции 2-4 из списка дополнительной литературы.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyl.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.uniyl.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/пароллю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность»

(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «[Книгообеспеченность](#)» доступна в сети университета и через Личный кабинет.