



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)  
**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОП

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) Крайнова Г.С.  
(ФИО)

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. директора департамента общей и  
экспериментальной физики

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) Короченцев В. В.  
(ФИО.)  
«27» апреля 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
Нанoeлектроника  
**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**  
**Форма подготовки очная**

курс 3 семестр б  
лекции 16 час.  
практические занятия 32 час.  
лабораторные работы 18 час.  
в том числе с использованием МАО лек. 0 / пр. 18 / лаб. 0 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 66 час.  
в том числе с использованием МАО 18 час.  
самостоятельная работа 42 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 00 час.  
контрольные работы (количество) не предусмотрены  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет б семестр  
экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 11.03.04 **Электроника и нанoeлектроника** утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 19 сентября 2017 г. (с изменениями и дополнениями).

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики протокол № 7 от «3» марта 2022 г.

И.о. директора департамента: к.х.н., доцент Короченцев В. В.

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Доценко С.А.

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## Цель и задачи дисциплины.

### Цель:

- ознакомление студентов со структурой, стадиями изготовления, принципом работы, достоинствами и недостатками перспективных нанотранзисторных структур.

### Задачи:

- ознакомить с классификацией структур наноэлектроники;
- ознакомить с нанотранзисторными структурами на традиционных материалах;
- ознакомить с нанотранзисторными структурами на новых материалах;
- дать представления об одноэлектронике и нанотранзисторных структурах, построенных на принципах одноэлектроники;
- дать представления о политронике и нанотранзисторных структурах, построенных на принципах политроники.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие профессиональные компетенции:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Использует методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники
		ПК-1.2 Работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в наноэлектронике
		ПК-1.3 Применяет средства программирования и компьютерного моделирования при проектировании приборов, схем, установок электроники и

		наноэлектроники
--	--	-----------------

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1.1. Использует методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники	Знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
	Умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
	Владеет навыками использования стандартных программных средств для их компьютерного моделирования
ПК-1.2 работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в наноэлектронике	Знает виды контрольно-измерительного оборудования, используемого в наноэлектронике
	Умеет работать с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в наноэлектронике, получать достоверные экспериментальные данные
	Владеет навыками работы с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в наноэлектронике
ПК-1.3 применяет средства программирования и компьютерного моделирования при проектировании приборов, схем, установок электроники и наноэлектроники	Знает средства программирования, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок электроники и наноэлектроники
	Умеет использовать методы и средства программирования, и компьютерного моделирования при проектировании приборов, схем, установок электроники и наноэлектроники
	Владеет навыками программирования и компьютерного моделирования для решения

## 2. Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы 108 академических часов).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Лаб	Лабораторные работы

Пр	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения

### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	СР	Контроль	
1	Раздел I. Введение в наноэлектронику	6	1	18	32	42	-	УО-3, ПР-4
2	Раздел II. Нанотранзисторные структуры на традиционных материалах		6					
3	Раздел III. Нанотранзисторные структуры на новых материалах		4					
4	Раздел IV. Одноэлектроника		2					
5	Раздел V. Политроника		3					
Итого:			16	18	32	42	-	

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Раздел I. Введение в наноэлектронику (1 час.)

#### Тема 1. Направления наноэлектроники (1 час.)

Переход от микроэлектроники к наноэлектронике. Направления наноэлектроники.

### Раздел II. Нанотранзисторные структуры на традиционных материалах (8 час.)

#### Тема 1. Кремниевые транзисторы с изолированным затвором (1 час.)

МДП-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. МОП-транзистор со слаболегированными LDD-

областями: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 2. КНИ (кремний на изоляторе)-транзисторы (1 час.)**

КНИ-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. TeraHertz-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 3. Транзисторы на структурах SiGe (1 час.)**

Технология формирования структур Si/SiGe и SiGe/Si. Модулированно-легированные транзисторы с затвором Шоттки на базе гетеропереходов Si/Si<sub>0.7</sub>Ge<sub>0.3</sub> (MODFET-транзисторы): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Транзистор типа «кремний ни на чем»: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 4. Многозатворные транзисторы (1 час.)**

FinFET-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Tri-Gate-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Multi-Gate FinFET-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 5. Гетеротранзисторы (2\_час.)**

Полевой гетеротранзистор на основе AlGaAs-GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. НЕМТ-транзистор на основе Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As/GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Гетеропереходной полевой транзистор с затвором Шоттки на основе AlGaN/GaN: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Полевой транзистор с затвором Шоттки на основе GaAs (MESFET): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

**Тема 6. Гетероструктурный транзистор на квантовых точках (1 час.)**

МДП-транзистор с квантовыми точками Ge: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Модуляционно легированные транзисторы с квантовыми точками InAs на базе гетеропереходов GaAs/Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 7. Биполярные транзисторы (1 час.)**

Биполярные транзисторы на гетеропереходах (HBT) на базе GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

## **Раздел III. Нанотранзисторные структуры на новых материалах (4 час.)**

### **Тема 1. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок (1 час.)**

Полевой транзистор на основе нанотрубки компании Infineon Technologies AG: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Транзистор на Y-образной нанотрубке: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 2. Нанотранзисторы на основе графена (1 час.)**

Графеновый транзистор на квантовой точке: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Полевой транзистор на основе графеновой ленты: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Графеновый транзистор с нанопроводником: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 3. Спиновый нанотранзистор (1 час.)**

Кремниевый спиновый транзистор с ферромагнитными слоями Co<sub>84</sub>Fe<sub>16</sub> и Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Спиновый полевой транзистор (транзистор Датта-Даса): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

### **Тема 4. Наноэлектромеханический транзистор (1 час.)**

Наноэлектромеханический транзистор (транзистор Блайка): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

Баллистический транзистор с отклоняющим полем: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

#### **Раздел IV. Одноэлектроника (2 час.)**

##### **Тема 1. Эффект одноэлектронного туннелирования (1 час.)**

Одноэлектронный транзистор с квантовой точкой: структура, принцип работы, достоинства и недостатки. Стадии процесса одноэлектронного туннелирования. Кулоновская лестница: причина появления, вид, параметры структуры, влияющие на нее.

##### **Тема 2. Транзисторные структуры одноэлектроники (1 час.)**

Кремниевый одноэлектронный транзистор с двумя затворами и одиночной квантовой точкой: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Квантово-точечный транзистор с поликремниевым затвором: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Элемент памяти МДП-типа с ультракоротким каналом: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

#### **Раздел V. Политроника (3 час.)**

##### **Тема 1. Органические транзисторы (1 час.)**

Полевой транзистор на органических полупроводниках с нижним и верхним расположением затвора: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Тонкопленочный полевой транзистор на органических полупроводниках: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

##### **Тема 2. Органические светоизлучающие диоды (2 час.)**

Органические светодиоды пассивно-матричные (Passive-Matrix OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды активно-матричные (Active-Matrix OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды фосфоресцентные (Phosphorescent OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

Органические светодиоды прозрачные (Transparent and Top-emitting OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

Органические светодиоды гибкие (Flexible OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

Органические светодиоды расположенные вертикально в стопочку (Staked OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **Практические занятия (32 час.)**

#### **Занятие 1. Спинтроника (4 час.)**

1. Свойства магнитоупорядоченных структур.
2. Приборы на магнитостатических волнах.
3. Приборы спинтроники.

#### **Занятие 2. Квантовые компьютеры (4 час.)**

1. От битов к кубитам.
2. Квантовые вычисления.
3. Элементная база квантовых компьютеров.

#### **Занятие 3. Молектроника (6 час.)**

1. Молекулярный подход в наноэлектронике.
2. Молекулярные транзисторы и элементы логики.
3. Молекулярная память.

#### **Занятие 4. Нанофотоника (6 час.)**

1. Структуры с пониженной размерностью.
2. Устройства на фотонных кристаллах.
3. Фотонные транзисторы.
4. Лазерные наноструктуры.

5. Волоконные лазеры.

### **Занятие 5. Наноплазмоника (6 час.)**

1. Кванты плазмы твердых тел.
2. Спазер – лазер на плазмонах.
3. Однофотонный транзистор.
4. Интегральные схемы на плазмонах.

### **Занятие 6. Мемристорная электроника (6 час.)**

1. Мемристор и его свойства.
2. Кроссбар-архитектура.
3. Нанозлектронные устройства памяти.

### **Лабораторные работы (18 час.)**

**Лабораторная работа №1. Исследование слоя квантовых точек и определение его параметров (9 час.)**

**Лабораторная работа №2. Определение фазового состава квантовых точек (9 час.)**

### **Самостоятельная работа (36 час.)**

В ходе самостоятельной работы студенты знакомятся с новыми направлениями нанозлектроники, подготавливают 2 доклада по выбранным темам и пишут реферат по выбранной теме.

Темы докладов:

1. Свойства магнитоупорядоченных структур.
2. Приборы на магнитостатических волнах.
3. Приборы спинтроники.
4. От битов к кубитам.
5. Квантовые вычисления.

6. Элементная база квантовых компьютеров.
7. Молекулярный подход в нанoeлектронике.
8. Молекулярные транзисторы и элементы логики.
9. Молекулярная память.
10. Структуры с пониженной размерностью.
11. Устройства на фотонных кристаллах.
12. Фотонные транзисторы.
13. Лазерные наноструктуры.
14. Волоконные лазеры.
15. Кванты плазмы твердых тел.
16. Спазер – лазер на плазмонах.
17. Однофотонный транзистор.
18. Интегральные схемы на плазмонах.
19. Мемристор и его свойства.
20. Кроссбар-архитектура.
21. Нанoeлектронные устройства памяти.

Темы рефератов:

1. Гетероструктуры – материалы нанoeлектроники.
2. Графен – перспективный двумерный монокристалл.
3. Нанотрубки – основа полевых нанотранзисторов.
4. Фуллерены, многообразие вариантов их применения.
5. Магнитные полупроводники, перспективы их применения.
6. Полимерные материалы в нанoeлектронике.
7. Фотонные кристаллы: от теории к практике.
8. Пленки поверхностно-активных веществ в наноструктурах.
9. Бионаноструктуры.

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Нанoeлектроника» включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	2-17 неделя	Подготовка 2 докладов	22 часа	Доклад
2	2-17 неделя	Написание реферата	14 часов	Реферат

#### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов состоит из работы над рекомендованной и любой доступной литературой по изучаемой дисциплине, подготовки докладов по выбранным темам в виде презентаций с использованием мультимедийного оборудования и написания реферата по выбранной теме реферата.

Преподаватель предлагает каждому студенту список тем для докладов и рефератов. Студент выбирает из невыбранных другими две темы для докладов и одну для реферата. Доклады подготавливаются в виде презентации в лицензионной программе Power Point (из пакета Office) и излагаются на практическом занятии. Реферат создают в лицензионной

программе Word (из пакета Office) и предоставляют преподавателю в электронном виде для ознакомления.

### **Задания для самостоятельного выполнения**

1. Поиск, чтение и [http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDUQFjAC&url=http%3A%2F%2Fknowledge.allbest.ru%2Fjournalism%2F2c0a65635a2ac68b4c43a89521316c36\\_0.html&ei=6QNdUp3qKKNh4QStH4DAAQ&usg=AFQjCNGlRbZE5GCTxIE1sWrO-O8AnD4vKw&sig2=bHurRXWONbxJ9PKHC\\_V9XA&cad=rjt](http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDUQFjAC&url=http%3A%2F%2Fknowledge.allbest.ru%2Fjournalism%2F2c0a65635a2ac68b4c43a89521316c36_0.html&ei=6QNdUp3qKKNh4QStH4DAAQ&usg=AFQjCNGlRbZE5GCTxIE1sWrO-O8AnD4vKw&sig2=bHurRXWONbxJ9PKHC_V9XA&cad=rjt) анализ любой доступной литературы по изучаемой дисциплине. Написание реферата на одну из тем представленных в списке тем реферата не выбранную другими студентами.

2. Подготовка докладов по темам предложенным преподавателем в списке тем докладов, не выбранных другими студентами. За семестр нужно приготовить 2 доклада в виде презентаций с использованием мультимедийного оборудования.

### **Методические рекомендации для подготовки презентаций**

Общие требования к презентации:

- презентация не должна быть меньше 10 слайдов;
- первый лист – это титульный лист, на котором обязательно должны быть представлены: название и номер доклада; фамилия, имя, отчество автора;
- следующим слайдом должно быть содержание, где представлены основные этапы (моменты) презентации; желательно, чтобы из содержания по гиперссылке можно было перейти на необходимую страницу и вернуться вновь на содержание (при обсуждении доклада это позволяет быстро перейти к слайду, к которому адресован вопрос студента);
- дизайн-эргономические требования: использовать только хорошо или достаточно хорошо сочетаемые цвета (таблицу сочетаемости цветов ищите в интернете), количество объектов (рисунков и таблиц) на слайде должно быть

не более 3 (иначе слайд тяжел для восприятия), цвет текста темный на светлом фоне, монотонный приглушенный цвет фона выглядит предпочтительнее разноцветного или слишком яркого фона;

- каждый слайд, кроме первого, должен иметь заголовок, расположенный вверху слайда и отражающий содержание слайда; шрифт заголовка на 2 или более пунктов больше шрифта основного текста;

- под каждым рисунком должны располагаться подписи к рисунку, поясняющие содержание рисунка;

- важные параметры устройства или прибора можно свести в таблицу и оформить сверху таблицы поясняющую подпись к таблице;

- последними слайдами презентации должны быть глоссарий (список использованных терминов и их определения) и список литературы.

### **Порядок представления доклада и его оценка**

Презентация докладывается студентом на практическом занятии. Далее следуют вопросы от преподавателя и студентов. После получения ответов на все заданные вопросы преподаватель оценивает доклад студента выставляя ему определенное количество баллов, которое входит в общее количество баллов студента, набранных им в течение семестра.

При оценке доклада учитываются соответствие содержания выбранной теме, четкость изложения материала, умение работать с научной литературой, умение ставить проблему и анализировать ее, умение логически мыслить, владение профессиональной терминологией, грамотность оформления.

### **Темы докладов**

1. Свойства магнитоупорядоченных структур.
2. Приборы на магнитостатических волнах.
3. Приборы спинтроники.

4. От битов к кубитам.
5. Квантовые вычисления.
6. Элементная база квантовых компьютеров.
7. Молекулярный подход в нанoeлектронике.
8. Молекулярные транзисторы и элементы логики.
9. Молекулярная память.
10. Структуры с пониженной размерностью.
11. Устройства на фотонных кристаллах.
12. Фотонные транзисторы.
13. Лазерные наноструктуры.
14. Волоконные лазеры.
15. Кванты плазмы твердых тел.
16. Спазер – лазер на плазмонах.
17. Однофотонный транзистор.
18. Интегральные схемы на плазмонах.
19. Мемристор и его свойства.
20. Кроссбар-архитектура.
21. Нанoeлектронные устройства памяти.

Критерии оценки:

✓ 100-86 баллов выставляется студенту, если студент выразил своё мнение по сформулированной проблеме, аргументировал его, точно определив ее содержание и составляющие. Приведены данные отечественной и зарубежной литературы. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно

✓ 85-76 баллов - работа характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы. Для аргументации приводятся данные отечественных и зарубежных авторов. Фактических

ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет. Допущены одна-две ошибки в оформлении работы

✓ 75-61 балл - студент проводит достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимает базовые основы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы, оформлении работы

✓ 60-50 баллов - если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа. Не раскрыта структура темы. Допущено три или более трех ошибок в смысловом содержании раскрываемой проблемы, в оформлении работы.

## **Методические указания к выполнению реферата**

### **Цели и задачи реферата**

Реферат (от лат. *refero* — докладываю, сообщаю) представляет собой краткое изложение проблемы практического или теоретического характера с формулировкой определенных выводов по рассматриваемой теме. Избранная студентом проблема изучается и анализируется на основе одного или нескольких источников. В отличие от курсовой работы, представляющей собой комплексное исследование проблемы, реферат направлен на анализ одной или нескольких научных работ.

*Целями* написания реферата являются:

- развитие у студентов навыков поиска актуальных проблем наноэлектроники;
- развитие навыков краткого изложения материала с выделением лишь самых существенных моментов, необходимых для раскрытия сути проблемы;
- развитие навыков анализа изученного материала и формулирования собственных выводов по выбранному вопросу в письменной форме, научным, грамотным языком.

*Задачами* написания реферата являются:

- научить студента максимально верно передать мнения авторов, на основе работ которых студент пишет свой реферат;
- научить студента грамотно излагать свою позицию по анализируемой в реферате проблеме;
- подготовить студента к дальнейшему участию в научно – практических конференциях, семинарах и конкурсах;
- помочь студенту определиться с интересующей его темой, дальнейшее раскрытие которой возможно осуществить при написании курсовой работы или диплома;
- уяснить для себя и изложить причины своего согласия (несогласия) с мнением того или иного автора по данной проблеме.

### **Основные требования к содержанию реферата**

Студент должен использовать только те материалы (научные статьи, книги, монографии, интернет-ресурсы, пособия), которые имеют прямое отношение к избранной им теме. Не допускаются отстраненные рассуждения, не связанные с анализируемой проблемой. Содержание реферата должно быть конкретным, исследоваться должна только одна проблема (допускается несколько, только если они взаимосвязаны). Студенту необходимо строго придерживаться логики изложения (начать с определения и анализа понятий, перейти к постановке проблемы, проанализировать пути ее решения и сделать соответствующие выводы). Реферат должен заканчиваться выведением выводов по теме.

По своей *структуре* реферат состоит из:

- 1.Титульного листа;
- 2.Введения, где студент формулирует проблему, подлежащую анализу и исследованию;
- 3.Основного текста, в котором последовательно раскрывается избранная тема. В отличие от курсовой работы, основной текст реферата предполагает деление на 2-3 параграфа без выделения глав. При необходимости текст

реферата может дополняться иллюстрациями, таблицами, графиками, но ими не следует "перегружать" текст;

4.Заклучения, где студент формулирует выводы, сделанные на основе основного текста.

5.Списка использованной литературы. В данном списке называются как те источники, на которые ссылается студент при подготовке реферата, так и иные, которые были изучены им при подготовке реферата.

Объем реферата составляет 10-15 страниц машинописного текста, но в любом случае не должен превышать 15 страниц. Интервал – 1.5, размер шрифта – 14, поля: левое — 3см, правое — 1.5 см, верхнее и нижнее — 1.5см. Страницы должны быть пронумерованы. Абзацный отступ от начала строки равен 1.25 см.

### **Порядок сдачи реферата и его оценка**

Реферат пишется студентом в течение семестра в сроки, установленные в плане-графике выполнения самостоятельной работы по дисциплине, и сдается преподавателю, ведущему дисциплину.

По результатам проверки студенту выставляется определенное количество баллов, которое входит в общее количество баллов студента, набранных им в течение семестра. При оценке реферата учитываются соответствие содержания выбранной теме, четкость структуры работы, умение работать с научной литературой, умение ставить проблему и анализировать ее, умение логически мыслить, владение профессиональной терминологией, грамотность оформления.

### **Темы рефератов**

1. Гетероструктуры – материалы наноэлектроники.
2. Графен – перспективный двумерный монокристалл.
3. Нанотрубки – основа полевых нанотранзисторов.
4. Фуллерены, многообразие вариантов их применения.
5. Магнитные полупроводники, перспективы их применения.

6. Полимерные материалы в наноэлектронике.
7. Фотонные кристаллы: от теории к практике.
8. Пленки поверхностно-активных веществ в наноструктурах.
9. Бионаноструктуры.

Критерии оценки:

✓ 100-86 баллов выставляется студенту, если студент выразил своё мнение по сформулированной проблеме, аргументировал его, точно определив ее содержание и составляющие. Приведены данные отечественной и зарубежной литературы. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно.

✓ 85-76 баллов - работа характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы. Для аргументации приводятся данные отечественных и зарубежных авторов. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет. Допущены одна-две ошибки в оформлении работы.

✓ 75-61 балл - студент проводит достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимает базовые основы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы, оформлении работы.

✓ 60-50 баллов - если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа. Не раскрыта структура темы. Допущено три или более трех ошибок в смысловом содержании раскрываемой проблемы, в оформлении работы.

#### **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I	<p>ПК-1.1. Использует методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и нанoeлектроники</p> <p>ПК-1.2. работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике</p> <p>ПК-1.3. применяет средства программирования и компьютерного моделирования при проектировании приборов, схем, установок электроники и нанoeлектроники</p>	<p>Знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, ВИДЫ контрольно-измерительного оборудования, используемого в нанoeлектронике, средства программирования, и компьютерного моделирования, используемые при проектировании приборов, схем, установок электроники и нанoeлектроники</p>	Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт вопрос № 1
				Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт, задание
				Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт, задание
2	Раздел II		<p>Владеет навыками использования стандартных программных средств для их компьютерного моделирования владеет , навыками работы с</p>	<p>Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-6)</p> <p>Устный опрос (УО-3), Лабораторная работа (ПР-6)</p>	<p>Зачёт, задание</p> <p>Зачёт вопросы № 2-8</p>

		контрольно-измерительным оборудованием, используемым в наноэлектронике, навыками программирования и компьютерного моделирования для решения	Устный опрос (УО-3), Лабораторная работа (ЛР-6)	Зачёт, задание
			Устный опрос (УО-3), Лабораторная работа (ЛР-6)	Зачёт, задание
3	Раздел III		Устный опрос (УО-3), Лабораторная работа (ЛР-6)	Зачёт вопросы № 9-12
			Устный опрос (УО-3), Лабораторная работа (ЛР-6)	Зачёт, задание
			Устный опрос (УО-3), Лабораторная работа (ЛР-6)	Зачёт, задание
4	Раздел IV		Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт вопросы № 13-14
			Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт, задание
			Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт, задание
5	Раздел V		Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт вопросы № 15-16
			Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт, задание
		Устный опрос (УО-3), Реферат (ПР-4)	Зачёт, задание	

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в разделе ФОС.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Суздалев И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Либроком, 2013, 592 стр.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:242083&theme=FEFU>

2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2011. – 288 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2023)

3. Тимофеев В.Б. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур. – М.:Лань, 2015. – 512 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=56610](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=56610)

4. В.Л. Ткалич, А.В. Макеева, Е.Е. Оборина «Физические основы наноэлектроники: Учебное пособие» - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. - 83 с.

<http://window.edu.ru/resource/415/73415>

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. А.А. Шука «Наноэлектроника» - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 342 с.

2. В. Денисенко «Новые физические эффекты в нанометровых МОП-транзисторах» Технологии – Т.12. – 2009. – с.157.

[http://www.kit-e.ru/articles/device/2009\\_12\\_157.php](http://www.kit-e.ru/articles/device/2009_12_157.php)

3. Н.М. Щелкачѳв, Я.В. Фоминов «Электрический ток в наноструктурах: кулоновская блокада и квантовые точечные контакты: Учебно-методическое пособие» - М.: МФТИ, 2010. - 39 с.

<http://window.edu.ru/resource/539/73539>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Нанотехнологии <http://www.nanonewsnet.ru/> (про наноэлектронику <http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/nanoelektronika-dostizheniya-perspektivy> и <http://www.nanonewsnet.ru/taxonomy/term/41/all>).

2. Словарь нанотерминов <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1407> (про наноэлектронику <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/101/>).

### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://diss.rsl.ru/>
4. Crystallography Open Database (открытая база данных по атомной структуре монокристаллов для программы Crystal Maker 9.2) <http://www.crystallography.net/search.html>.
5. American Mineralogist Crystal Structure Database (разработанная для американских минералогов открытая база данных по атомной структуре монокристаллов для программы Crystal Maker 9.2) <http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php>.
6. Materials Project (открытая база данных по атомной структуре монокристаллов и вычисленным из этих данных различным свойствам этих монокристаллов) <https://materialsproject.org/>

#### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

1. Nova 1.0 (Программа для получения изображения АСМ для лабораторной работы №1).
2. Image Analysis 2.1 или моложе (Программа обработки и анализа изображения АСМ для лабораторной работы №1)
3. Gatan Digital Micrograph 2.30 (Программа для получения изображения ПЭМ высокого разрешения для лабораторной работы №2).
4. ImageJ 1.42 или моложе (Программа получения и обработки картин быстрого фурье анализа выбранных областей изображения ПЭМ высокого разрешения для лабораторной работы №2).
5. Single Crystal 2.3 или моложе (Программа для моделирования электронной дифракции монокристаллов и расшифровки картин быстрого фурье анализа полученных для лабораторной работы №2).

6. Crystal Maker 9.2 или моложе (Программа для построения атомных структур монокристаллов и сохранения их в файлах в формате воспринимаемом программами Single Crystal 2.3).
7. Microsoft Office для дома и учебы 2016 или 365 (Программы для подготовки отчетов по лабораторным работам, реферата (Word) и докладов на практических занятиях (PowerPoint)).

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

В рамках дисциплины оцениваются: конспектирование лекций (12% вклад в итоговом рейтинге по дисциплине; дополнительное контрольное мероприятие (ДКМ)), подготовка и изложение докладов на 2 выбранные темы на практических занятиях (12%; 2 основных контрольных мероприятия (ОКМ)), вопросы к докладам изложенным другими студентами на практических занятиях (13%; ДКМ), реферат на выбранную тему (25%; ОКМ), отчеты по 2 лабораторным работам (13%; 2 ОКМ) и знание теории, проверяемое на зачёте (25%; ОКМ). Максимальное количество баллов по любому контрольному мероприятию 100. Максимальный рейтинг по дисциплине 125%. Для получения «зачтено» студенту достаточно получить рейтинг по дисциплине 61% или более, при этом по каждому ОКМ нужно получить не менее 61 балла.

Посещаемость занятий не является контрольным мероприятием, но для лучшего освоения дисциплины следует приходить на занятия и конспектировать лекции. При конспектировании лекции особое внимание уделять названиям транзисторных структур, их устройству, параметрам, стадиям изготовления, принципам работы, достоинствам и недостаткам. Правильно подготовленные конспекты помогут хорошо подготовиться к зачёту по дисциплине. При формировании оценки конспектирования лекций учитывается количество лекций, законспектированных студентом по данной дисциплине.

В течение первой недели обучения нужно выбрать 2 темы из списка тем докладов, не выбранные другими студентами и сообщить об этом преподавателю. При выборе темы рекомендуется ознакомиться со всеми темами докладов, просмотреть информацию по ним в рекомендованной литературе и интернете (в интернете рекомендуется вести поиск на русском и английском языках с помощью поисковика Google ([www.google.com](http://www.google.com)), для перевода содержимого найденных страниц с английского на русский язык можно воспользоваться Google Translate (<https://translate.google.ru/>), выбрать

наиболее интересные для вас (их может быть более двух), расставить предпочтения и согласовать 2 темы, выбранные вами с другими студентами. Доклад готовят в виде презентации в PowerPoint в соответствии с методическими рекомендациями для подготовки презентации. При подготовке доклада нужно пользоваться как отечественной, так и иностранной литературой. При работе с литературой нужно особое внимание уделять истории развития рассматриваемой темы доклада, названиям транзисторных структур, их устройству, параметрам, стадиям изготовления, принципам работы, достоинствам и недостаткам. Эти аспекты следует последовательно изложить в докладе, начиная с истории развития и оканчивая достоинствами и недостатками. Первый доклад нужно изложить на одном из практических занятий, проходящих с 3 по 9 неделю, а второй – с 11 по 17 неделю обучения включительно. При оценке доклада учитываются соответствие содержания выбранной теме, четкость изложения материала, умение работать с научной литературой, умение ставить проблему и анализировать ее, умение логически мыслить, владение профессиональной терминологией, грамотность оформления. Методические рекомендации по оформлению презентации и список тем докладов приведены в разделе «Материалы для самостоятельной работы студентов» УМКД.

После изложения доклада студенты могут задавать к нему вопросы. Вопросы задаются для уточнения деталей или прояснения некоторых моментов доклада. При формировании оценки по этому дополнительному контрольному мероприятию учитывается количество докладов, к которым студент задал один или более вопросов, не заданных другими студентами. Поэтому лучше сконцентрироваться на подготовке одного качественного вопроса во время доклада и задать его по окончании этого доклада, чем задать докладчику несколько поспешных непродуманных вопросов. Вопросы к оформлению и изложению доклада не учитываются при формировании оценки по этому дополнительному контрольному мероприятию.

Кроме того, нужно выполнить 2 лабораторные работы, подготовить отчеты по ним и сдать их на лабораторных занятиях. Первую лабораторную работу желательно сдать до 7 недели, а вторую – до 13 недели обучения включительно. Отчет нужно оформлять в соответствии с методическими рекомендациями к соответствующей лабораторной работе. Если выполнены полностью все задания к лабораторной работе, полученные результаты верны и отчет оформлен правильно, то студенту получает 100 баллов.

В течение первой и второй недель обучения нужно выбрать тему из списка тем рефератов, не выбранную другими студентами и сообщить об этом преподавателю. При выборе темы рекомендуется ознакомиться со всеми темами рефератов, просмотреть информацию по ним в рекомендованной

литературе и интернете (в интернете рекомендуется вести поиск на русском и английском языках с помощью поисковика Google ([www.google.com](http://www.google.com)), для перевода содержимого найденных страниц с английского на русский язык воспользоваться Google Translate (<https://translate.google.ru/>), выбрать наиболее интересные для вас, расставить предпочтения и согласовать тему, выбранную вами с другими студентами. Реферат готовят в Word в соответствии с методическими рекомендациями для подготовки реферата и сдают преподавателю до 17 недели обучения включительно. При подготовке реферата нужно пользоваться как отечественной, так и иностранной литературой. При работе с литературой нужно особое внимание уделять истории развития рассматриваемой темы реферата, названиям транзисторных структур, их устройству, параметрам, стадиям изготовления, принципам работы, достоинствам и недостаткам, сравнению со структурами, использовавшимися ранее для решения схожих задач в микроэлектронике. Эти аспекты следует последовательно изложить в реферате, начиная с истории развития и оканчивая сравнением. При оценке реферата учитываются соответствие содержания выбранной теме, четкость структуры работы, умение работать с научной литературой, умение ставить проблему и анализировать ее, умение логически мыслить, владение профессиональной терминологией, грамотность оформления. Методические рекомендации по оформлению реферата и список тем рефератов приведены в разделе «Материалы для самостоятельной работы студентов» УМКД.

Зачёт является последним по времени контрольным мероприятием и реализуется на 18 неделе обучения в виде устного опроса в форме ответов на вопросы в билете, выбранном студентом. Вопросы в билете берутся из списка вопросов к зачёту. На подготовку ответов на вопросы в билете студенту предоставляется 20 минут. После ответов студента на вопросы преподаватель задает студенту дополнительные вопросы для уточнения глубины понимания и прочности освоения студентом программного материала дисциплины. По завершению ответа студентом на все заданные преподавателем вопросы производится оценка в баллах ответа студента на зачёте. При оценке ответа студента на зачёте учитываются глубина и прочность усвоения программного материала, полнота, последовательность и логическая стройность его изложения, умение увязывать теорию с практикой, правильное обоснование принятого решения, знание и умение строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и микроэлектроники различного функционального назначения.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

№ п/п	Наименование предмета, дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий с перечнем основного оборудования	Адрес (местоположение) учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий, объектов физической культуры и спорта
1	2	3	4
1.	Нанoeлектроника	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.  Мультимедийное оборудование: Мультимедийный проектор, Mitsubishi FD630U, 4000 ANSI Lumen, 1920x1080, ноутбук Acer Aspire	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ауд. 316
		Аудитория для самостоятельной работы, Читальные залы Научной библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду  Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт. Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек. Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеоувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками	690001, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, Корпус А, ауд. А1017

## VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### Паспорт ФОС

#### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-1 Способен строить	знает (пороговый уровень)	простейшие физические и математические	объяснять учебный материал с требуемой	60-74

простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования		модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	степенью научной точности и полноты	
	умеет (продвинутый)	строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	уметь систематизировать научную информацию, строить модели структуры нанотранзисторов	75-89
	владеет (высокий)	навыками использования стандартных программных средств для их компьютерного моделирования	уметь решать различные задачи в области моделирования наноструктур для нанотранзисторов и использовать программные средства для их моделирования	90-100

### **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

#### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Наноэлектроника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. По дисциплине «Наноэлектроника» учебным планом предусмотрен зачёт в шестом семестре. Зачёт проводится в письменно-устной форме. Студент составляет конспект ответа, затем устно отвечает на вопросы.

#### **Вопросы к зачёту**

1. Переход от микроэлектроники к нанoeлектронике. Направления нанoeлектроники.

2. МДП-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. МОП-транзистор со слабелегированными LDD-областями: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

3. КНИ-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. TeraHertz-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

4. Технология формирования структур Si/SiGe и SiGe/Si. Модулированно-легированные транзисторы с затвором Шоттки на базе гетеропереходов Si/Si<sub>0.7</sub>Ge<sub>0.3</sub> (MODFET-транзисторы): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Транзистор типа «кремний ни на чем»: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

5. FinFET-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Tri-Gate-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Multi-Gate FinFET-транзистор: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

6. Полевой гетеротранзистор на основе AlGaAs-GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. НЕМТ-транзистор на основе Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As/GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Гетеропереходной полевой транзистор с затвором Шоттки на основе AlGaN/GaN: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Полевой транзистор с затвором Шоттки на основе GaAs (MESFET): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

7. МДП-транзистор с квантовыми точками Ge: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Модуляционно

легированные транзисторы с квантовыми точками InAs на базе гетеропереходов GaAs/Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>As: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

8. Биполярные транзисторы на гетеропереходах (HBT) на базе GaAs: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

9. Полевой транзистор на основе нанотрубки компании Infineon Technologies AG: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Транзистор на Y-образной нанотрубке: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

10. Графеновый транзистор на квантовой точке: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Полевой транзистор на основе графеновой ленты: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Графеновый транзистор с нанопроводником: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

11. Кремниевый спиновый транзистор с ферромагнитными слоями Co<sub>84</sub>Fe<sub>16</sub> и Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Спиновый полевой транзистор (транзистор Датта-Даса): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

12. Нанoeлектромеханический транзистор (транзистор Блайка): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Баллистический транзистор с отклоняющим полем: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

13. Одноэлектронный транзистор с квантовой точкой: структура, принцип работы, достоинства и недостатки. Стадии процесса одноэлектронного туннелирования. Кулоновская лестница: причина появления, вид, параметры структуры, влияющие на нее.

14. Кремниевый одноэлектронный транзистор с двумя затворами и одиночной квантовой точкой: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Квантово-точечный транзистор с поликремниевым затвором: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Элемент памяти МДП-типа с ультракоротким каналом: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

15. Полевой транзистор на органических полупроводниках с нижним и верхним расположением затвора: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Тонкопленочный полевой транзистор на органических полупроводниках: структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

16. Органические светодиоды пассивно-матричные (Passive-Matrix OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды активно-матричные (Active-Matrix OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды фосфоресцентные (Phosphorescent OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды прозрачные (Transparent and Top-emitting OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды гибкие (Flexible OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки. Органические светодиоды расположенные вертикально в стопочку (Staked OLED): структура, стадии изготовления, принцип работы, достоинства и недостатки.

критерии оценки:

✓ 100-86 баллов - если ответ показывает, что студент глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой,

правильно обосновывает принятое решение. Знает и умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения.

✓ 85-76 - баллов - ответ, обнаруживающий что студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов. Знает и умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл - оценивается ответ, свидетельствующий что студент имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала. Знает не все простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения. Допускается несколько ошибок в содержании ответа.

✓ 60-50 баллов - ответ, обнаруживающий что студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Не знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа.

## Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется преподавателем.

### Темы докладов

по дисциплине наноэлектроника  
(наименование дисциплины)

1. Свойства магнитоупорядоченных структур.
2. Приборы на магнитостатических волнах.
3. Приборы спинтроники.
4. От битов к кубитам.
5. Квантовые вычисления.
6. Элементная база квантовых компьютеров.
7. Молекулярный подход в наноэлектронике.
8. Молекулярные транзисторы и элементы логики.
9. Молекулярная память.
10. Структуры с пониженной размерностью.
11. Устройства на фотонных кристаллах.
12. Фотонные транзисторы.
13. Лазерные наноструктуры.
14. Волоконные лазеры.
15. Кванты плазмы твердых тел.
16. Спазер – лазер на плазмонах.

17. Однофотонный транзистор.
18. Интегральные схемы на плазмонах.
19. Мемристор и его свойства.
20. Кроссбар-архитектура.
21. Нанозлектронные устройства памяти.

Критерии оценки:

- ✓ 100-86 баллов выставляется студенту, если студент выразил своё мнение по сформулированной теме, аргументировал его, точно определив ее содержание и составляющие. Приведены данные отечественной и зарубежной литературы. Фактических ошибок, связанных с пониманием темы, нет; презентация оформлена правильно
- ✓ 85-76 баллов - работа характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания темы. Для аргументации приводятся данные отечественных и зарубежных авторов. Фактических ошибок, связанных с пониманием темы, нет. Допущены одна-две ошибки в оформлении презентации
- ✓ 75-61 балл - студент проводит достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих темы; понимает базовые основы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы, оформлении презентации
- ✓ 60-50 баллов - если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа. Не раскрыта структура темы. Допущено три или более трех ошибок в смысловом содержании раскрываемой темы, в оформлении презентации.

# Комплект лабораторных заданий

по дисциплине наноэлектроника  
(наименование дисциплины)

## К лабораторной работе №1

1. Обработать полученное изображение с помощью программы Image Analysis.
2. Получить маску от изображения.
3. Определить количество квантовых точек  $N$ , среднюю площадь поверхности квантовой точки  $\langle S \rangle$ , максимальную высоту квантовой точки  $h_{\max}$  и длину стороны реального изображения поверхности слоя квантовых точек  $L$ .
4. Вычислить площадь реального изображения поверхности слоя квантовых точек  $S_0=L^2$ , поверхностную плотность квантовых точек  $r=N/S_0$ , долю площади поверхности, занятой квантовыми точками  $Q=\langle S \rangle N/S_0 \times 100\%$ , количество слоёв квантовых точек  $Z_{100\%}=100\%/Q$  и минимальное значение толщины прослойки  $H=1,5 \times h_{\max}$ .
5. Сформулировать, исходя из полученной информации ( $r$ ,  $Z_{100\%}$  и  $H$ ), рекомендации технологу.

## К лабораторной работе №2

1. Обработать полученное изображение с помощью программы ImageJ.
2. Получить изображения быстрого преобразования фурье (БПФ) для квантовой точки и Si подложки.
3. Определить расстояния между всеми парными рефлексами на изображении БПФ от квантовой точки и Si подложки.
4. Сопоставить рефлексам на изображении БПФ от Si подложки рефлексы на похожем модельном изображении электронной дифракции от Si подложки, полученном с помощью программы Single Crystal.

5. Определить ось зоны и коэффициент преобразования расстояния на изображении БПФ в межплоскостное расстояние.
6. Вычислить межплоскостные расстояния для квантовой точки.
7. Сопоставить вычисленные значения межплоскостных расстояний для квантовой точки со значениями межплоскостных расстояний для разных фаз, полученных с помощью программы Single Crystal.
8. Определить фазовый состав квантовой точки.
9. Сформулировать, исходя из полученной информации, рекомендации технологу.

Критерии оценки:

- ✓ 100 баллов выставляется студенту, если студент полностью выполнил все задания к лабораторной работе, полученные им результаты верны и отчет оформлен правильно.

## Темы рефератов

по дисциплине наноэлектроника  
(наименование дисциплины)

1. Гетероструктуры – материалы наноэлектроники.
2. Графен – перспективный двумерный монокристалл.
3. Нанотрубки – основа полевых нанотранзисторов.
4. Фуллерены, многообразие вариантов их применения.
5. Магнитные полупроводники, перспективы их применения.
6. Полимерные материалы в наноэлектронике.
7. Фотонные кристаллы: от теории к практике.
8. Пленки поверхностно-активных веществ в наноструктурах.
9. Бионаноструктуры.

Критерии оценки:

- ✓ 100-86 баллов выставляется студенту, если студент выразил своё мнение по сформулированной проблеме, аргументировал его, точно определив ее содержание и составляющие. Приведены данные отечественной и зарубежной литературы. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно.
- ✓ 85-76 баллов - работа характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы. Для аргументации приводятся данные отечественных и зарубежных авторов. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет. Допущены одна-две ошибки в оформлении работы.
- ✓ 75-61 балл - студент проводит достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимает базовые основы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы, оформлении работы.
- ✓ 60-50 баллов - если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа. Не раскрыта структура темы. Допущено три или более трех ошибок в смысловом содержании раскрываемой проблемы, в оформлении работы.

### **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Нанoeлектроника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Нанoeлектроника» проводится в форме контрольных мероприятий (реферата по выбранной теме, 2 докладов и 2 лабораторных работ) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (работа на занятии, конспектирование лекций);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;

- результаты самостоятельной работы (доклады на практических занятиях и реферат).

В рамках учебной дисциплины оценивается: работа на занятии и конспектирование лекций. При оценке работы на занятии определяют количество докладов на практическом занятии, к которым студент задал один или более вопросов относящихся к теме докладов и не заданных другими студентами. Не учитываются вопросы к оформлению и изложению доклада. Контроль работы на занятии проводится в течении семестра на практических занятиях, является дополнительным контрольным мероприятием и оценивается на 18 неделе семестра количеством набранных баллов. Количество баллов, полученных студентом по этому контрольному мероприятию вычисляется по формуле:  $O=100*M/N$ , где  $O$  – количество баллов,  $M$  - количество докладов на практическом занятии, к которым студент задал один или более вопросов относящихся к теме докладов и не заданных другими студентами,  $N$  – суммарное количество докладов на практических занятиях, которые должны доложить студенты за семестр по данной дисциплине за вычетом докладов студента, которому вычисляют количество баллов.

При контроле конспектирования лекций определяют количество лекций, законспектированных студентом по данной дисциплине за семестр. Контроль конспектирования лекций является дополнительным контрольным мероприятием и оценивается на 18 неделе семестра количеством набранных баллов. Количество баллов, полученных студентом по этому контрольному мероприятию вычисляется по формуле:  $O=100*M/N$ , где  $O$  – количество баллов,  $M$  – количество лекций, законспектированных студентом по данной дисциплине,  $N$  – суммарное количество лекций, которые проводит преподаватель за семестр по данной дисциплине.

Степень усвоения теоретических знаний оценивается на зачёте, который является основным контрольным мероприятием и проводится на 18 неделе семестра. На экзамене студент отвечает на вопросы в экзаменационном

билете, который взял. Вопросы в билете берутся из списка вопросов к зачёту. После ответа студента на вопросы ведущий преподаватель задает студенту дополнительные вопросы для уточнения глубины понимания и прочности освоения студентом программного материала дисциплины. По завершению ответа студентом на все заданные ведущим преподавателем вопросы производится оценка в баллах ответа студента на зачёте в соответствии с критерием выставления оценки студенту на зачёте по дисциплине.

Оценка уровня овладения практическими умениями и навыками проводится на лабораторных занятиях. Студент делает 2 лабораторные работы в сроки, установленные в рейтинг-плане, выполняет задания, описанные в комплекте лабораторных заданий, и оформляет отчеты в соответствии с требованиями оформления отчетов, описанными в методических указаниях для этих лабораторных работ. Если студент полностью выполнил все задания к лабораторной работе, полученные им результаты верны и отчет оформлен правильно, то ведущий преподаватель выставляет ему 100 баллов за лабораторную работу.

Результаты самостоятельной работы студент демонстрирует при изложении докладов на практических занятиях и в реферате. Для подготовки докладов студент выбирает 2 темы из списка тем докладов не выбранные другими студентами и использует любые доступные источники информации в том числе из списка основной литературы. Студент излагает подготовленные доклады на практических занятиях в установленные в рейтинг-плане сроки. Преподаватель оценивает доклад в соответствии с критерием оценки доклада.

Тему реферата студент выбирает из тем рефератов, не выбранных другими студентами. Реферат готовит в сроки, установленные в рейтинг-плане, и предоставляет его на 17 неделе ведущему преподавателю для оценки. Ведущий преподаватель в течение 18 недели прочитывает реферат и выставляет оценку студенту в соответствии с критерием оценки реферата. Если предоставленный студентом реферат является копией реферата,

сданного ранее другим студентом (совпадение 70% и более), то он не оценивается преподавателем так как не является результатом самостоятельной работы студента.

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Наноэлектроника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация проводится в виде зачёта в устной форме с использованием оценочных средств (устный опрос в форме ответов на вопросы экзаменационных билетов). Вопросы в билете берутся из списка вопросов к зачёту. После ответа студента на вопросы ведущий преподаватель задает вопросы студенту по изложенному материалу для уточнения глубины понимания студентом изложенного материала. По завершению ответа студентом на все заданные ведущим преподавателем вопросы производится оценка в баллах ответа студента на зачёте в соответствии с критерием выставления оценки студенту на зачёте по дисциплине.

**Критерии выставления оценки студенту на зачёте по дисциплине  
«Наноэлектроника»:**

<i>Баллы (рейтинговой оценки)</i>	<i>Оценка зачёта/ экзамена (стандартная)</i>	<i>Требования к сформированным компетенциям</i>
От 86 до 100	«зачтено»/ «отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, правильно обосновывает принятое решение. Знает и умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.
От 76 до 85	«зачтено»/ «хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов. Знает и умеет строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

От 61 до 75	«зачтено»/ «удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала. Знает не все простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения. Допускается несколько ошибок в содержании ответа.
От 50 до 60	«не зачтено»/ «неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Не знает простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа.