**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Наноэлектроника

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника**
Форма обучения: **заочная (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий)**
Факультет: **ФДО, Факультет дистанционного обучения**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **3**
Семестр: **6**
Учебный план набора 2014 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 6 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Самостоятельная работа под руководством преподавателя | 12 | 12 | часов |
| 2 | Лабораторные работы | 8 | 8 | часов |
| 3 | Контроль самостоятельной работы | 2 | 2 | часов |
| 4 | Всего контактной работы | 22 | 22 | часов |
| 5 | Самостоятельная работа | 113 | 113 | часов |
| 6 | Всего (без экзамена) | 135 | 135 | часов |
| 7 | Подготовка и сдача экзамена | 9 | 9 | часов |
| 8 | Общая трудоемкость | 144 | 144 | часов |
| | | | 4.0 | З.Е. |

Контрольные работы: 6 семестр - 1
Экзамен: 6 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 43525

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

| | | |
|---|---|---|
| доцент каф. ФЭ | _____ | Е. В. Саврук |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | _____ | П. Е. Троян |

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

| | | |
|---|---|---|
| Декан ФДО | _____ | И. П. Черкашина |
| Заведующий выпускающей каф. ПрЭ | _____ | С. Г. Михальченко |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| Доцент кафедры технологий электронного обучения (ТЭО) | _____ | Ю. В. Морозова |
| Доцент кафедры физической электроники (ФЭ) | _____ | И. А. Чистоедова |

Согласована на портале № 43525

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

формирование теоретических и практических основ, необходимых для расчета, разработки и создания элементов, приборов и устройств электроники и наноэлектроники, а также дальнейшего совершенствования знаний путем изучения научно-технической литературы по данной или смежной тематикам.

### 1.2. Задачи дисциплины

– изучение законов физики в низкоразмерных полупроводниковых структурах;
– изучение технологии изготовления полупроводниковых гетероструктур;
– изучение основных квантовых эффектов, лежащих в основе приборов и устройств электроники и наноэлектроники;
– изучение структуры и принципов работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Наноэлектроника» (Б1.Б.15) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Квантовая и оптическая электроника, Математика, Материалы электронной техники, Твердотельная электроника, Физика, Физика конденсированного состояния, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Микроволновая электроника.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ОПК-2 способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
– ОПК-7 способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;
– ПК-1 способностью 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;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** современное состояние и тенденции развития наноэлектроники и измерительной техники; основной физико-математический аппарат, применяемый при решении задач наноэлектроники; основные физико-математические модели приборов и устройств наноэлектроники, а также основные программные средства для их моделирования.
– **уметь** проводить поиск научно-технической литературы в области микро- и наноэлектроники с использованием информационных технологий; проводить измерения основных параметров приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения; использовать физико-математический аппарат для решения задач наноэлектроники; строить простейшие физические и математические модели приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения с использованием программных средств моделирования.
– **владеть** методикой анализа научно-технической литературы в области наноэлектроники; основными методиками измерения основных параметров приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения; методикой расчета основных парfметров низкоразмерных структур; основными методиками построения физических и математических моделей приборов и устройств наноэлектроники различного функционального назначения, а также их моделирования с использованием программных средств.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в табли-

Согласована на портале № 43525

це 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 6 семестр |
| Контактная работа (всего) | 22 | 22 |
| Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СРП) | 12 | 12 |
| Лабораторные работы | 8 | 8 |
| Контроль самостоятельной работы (КСР) | 2 | 2 |
| Самостоятельная работа (всего) | 113 | 113 |
| Подготовка к контрольным работам | 32 | 32 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 8 | 8 |
| Подготовка к лабораторным работам | 5 | 5 |
| Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 68 | 68 |
| Всего (без экзамена) | 135 | 135 |
| Подготовка и сдача экзамена | 9 | 9 |
| Общая трудоемкость, ч | 144 | 144 |
| Зачетные Единицы | 4.0 | |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | СРП, ч | Лаб. раб., ч | КСР, ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | | | | |
| 1 История наноэлектроники и нанотехнологий | 1 | 0 | 2 | 12 | 13 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| 2 Необходимые сведения из квантовой физики | 1 | 0 | | 12 | 13 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| 3 Квантовое поведение электронов в кристалле | 2 | 0 | | 12 | 14 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| 4 Полупроводниковые гетеростуктуры и сверхрешетки | 1 | 0 | | 12 | 13 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| 5 Технологии формирования квантово-размерных наноструктур | 1 | 0 | | 12 | 13 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| 6 Квантовые эффекты | 1 | 0 | | 12 | 13 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| 7 Устройства наноэлектроники | 4 | 8 | | 29 | 41 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |

Согласована на портале № 43525

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 Графеновая электроника | 1 | 0 | | 12 | 13 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| Итого за семестр | 12 | 8 | 2 | 113 | 135 | |
| Итого | 12 | 8 | 2 | 113 | 135 | |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (самостоятельная работа под руководством преподавателя)

Содержание разделов дисциплин (самостоятельная работа под руководством преподавателя) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (самостоятельная работа под руководством преподавателя)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (самостоятельная работа под руководством преподавателя) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 1 История наноэлектроники и нанотехнологий | Bell Telephone Company: от изобретения телефона до изобретения транзистора. Гордон Мур: от компании Шокли до компании Intel, закон Мура. Наноразмерные объекты в традиционной полупроводниковой электронике. Внедрение в микроэлектронику новых эпитаксиальных и ионно-лучевых (плазменных) технологий. Технологические проблемы на пути перехода от микро- к наноэлектронике. Физические проблемы и новые подходы к созданию электроники наноразмерных элементов и наноструктур. | 1 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Необходимые сведения из квантовой физики | Переход от классической физики к квантовой. Работы Эйнштейна. Работы Резерфорда и Бора. Волны де Бройля и квантово-волновой дуализм частиц вещества. Волновая механика и уравнение Шредингера. Принцип запрета Паули, вырождение состояний и снятие вырождения под внешним воздействием. Образование энергетических зон и их заполнение в кристаллах. Соотношение неточностей Гейзенберга. | 1 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 3 Квантовое поведение электронов в кристалле | Уравнение Шредингера для кристалла. Модель Кронига − Пенни. Переход к нанофизике полупроводников. Поведение носителей заряда в прямоугольной потенциальной яме. Квантовое ограничение. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом. Баллистический транспорт. | 2 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |

Согласована на портале № 43525

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Туннелирование. | | |
| | Итого | 2 | |
| 4 Полупроводниковые гетеростуктуры и сверхрешетки | Гетеропереходы и гетероструктуры. Сверхрешетки. | 1 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 5 Технологии формирования квантоворазмерных наноструктур | Формирование квантовых ям. Формирование квантовых точек. Формирование квантовых проволок (нитей). | 1 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 6 Квантовые эффекты | Двумерный электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Эффект Ааронова − Бома. Квантово-размерный эффект Штарка. Квантово-размерный туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. Сотуннелирование. Квантовое магнетосопротивление. Спинтроника. Эффект Кондо. | 1 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| | Итого | 1 | |
| 7 Устройства наноэлектроники | Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос (стандарт силы тока). Одноэлектронная память. Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на основе сверхрешеток. Инфракрасные фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных структурах. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы для СВЧ-электроники. Транзисторы с высокой подвижностью (HEMT). Транзисторы на основе SiGe-технологии. Транзисторы на основе технологии нитрида галлия (GaN) на подложке из карбида кремния (SiC). Перспективные материалы и приборы. Молибденит MoS2 − перспективный материал наноэлектроники. Алмаз как материал для СВЧ-приборов. Транзисторы на антимонидах и арсенидах индия. Транзисторы на углеродных нанотрубках. | 4 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| | Итого | 4 | |
| 8 Графеновая электроника | Получение и открытие свойств графена. В направлении к графеновой электронике. Первые транзисторы на графене. Созда- | 1 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |

Согласована на портале № 43525

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ние графеновой транзисторной технологии GNRFET. Высокоскоростные графеновые транзисторы. | | |
| | Итого | 1 | |
| Итого за семестр | | 12 | |

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1 Квантовая и оптическая электроника | | + | + | + | + | + | | |
| 2 Математика | | + | + | + | + | + | + | + |
| 3 Материалы электронной техники | + | | | + | | | | + |
| 4 Твердотельная электроника | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 5 Физика | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 6 Физика конденсированного состояния | | + | + | + | + | + | + | + |
| 7 Химия | | | | + | + | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 Микроволновая электроника | | | | + | | | + | + |

### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | СРП | Лаб. раб. | КСР | Сам. раб. | |
| ОПК-2 | + | + | + | + | Контрольная работа, Экзамен, Проверка контрольных работ, Отчет по лабораторной работе, Тест |
| ОПК-7 | + | + | + | + | Контрольная работа, Экзамен, Проверка контрольных работ, Отчет по лабораторной работе, Тест |

Согласована на портале № 43525

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ПК-1 | + | + | + | + | Контрольная работа, Экзамен, Проверка контрольных работ, Отчет по лабораторной работе, Тест |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 7 Устройства наноэлектроники | Изучение принципа работы HEMT-транзисторов. | 4 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| | Светодиоды на основе ДГС. | 4 | |
| | Итого | 8 | |
| Итого за семестр | | 8 | |

## 8. Контроль самостоятельной работы

Виды контроля самостоятельной работы приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Виды контроля самостоятельной работы

| № | Вид контроля самостоятельной работы | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | |
| 1 | Контрольная работа с автоматизированной проверкой | 2 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 |
| Итого | | 2 | |

## 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 6 семестр | | | | |
| 1 История наноэлектроники и нанотехнологий | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 8 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 2 Необходимые сведения из квантовой физики | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 8 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |

Согласована на портале № 43525

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3 Квантовое поведение электронов в кристалле | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 8 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 4 Полупроводниковые гетеростуктуры и сверхрешетки | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 8 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 5 Технологии формирования квантоворазмерных наноструктур | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 8 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 6 Квантовые эффекты | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 8 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| 7 Устройства наноэлектроники | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 12 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к лабораторным работам | 5 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 8 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 29 | | |
| 8 Графеновая электроника | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 8 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа, Тест, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 4 | | |
| | Итого | 12 | | |
| | Выполнение контрольной работы | 2 | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1 | Контрольная работа |
| Итого за семестр | | 113 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 9 | | Экзамен |

Согласована на портале № 43525

| | | | |
|---|---|---|---|
| Итого | 122 | | |

## 10. Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа)

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется.

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Дробот П.Н. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / П.Н. Дробот. – Томск ФДО, ТУСУР, 2016. – 286 с. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 19.08.2018).

### 12.2. Дополнительная литература

1. Сахаров Ю. В. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю.В. Сахаров, П.Е. Троян. - Томск ТУСУР, 2010. - 88 с. - Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 19.08.2018).

2. Игнатов, А.Н. Микросхемотехника и наноэлектроника [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Игнатов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург Лань, 2011. — 528 с.Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: http://lanbook.fdo.tusur.ru (дата обращения: 19.08.2018).

3. Барыбин, А.А. Физико-технологические основы макро-,микро, и наноэлектроники [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.А. Барыбин, В.И. Томилин, В.И. Шаповалов. — Электрон. дан. — Москва Физматлит, 2011. — 784 с. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: http://lanbook.fdo.tusur.ru (дата обращения: 19.08.2018).

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Дробот П.Н. Наноэлектроника : электронный курс / П.Н. Дробот. – Томск: ТУСУР, ФДО, 2016. Доступ из личного кабинета студента.

2. Ширяев Б.В. Наноэлектроника [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: методические указания по выполнению лабораторных работ / Ширяев Б.В. – Томск ФДО ТУСУР, 2016. – 36 с. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 19.08.2018).

3. Саврук Е.В. Наноэлектроника [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: методические указания по организации самостоятельной работы для студентов заочной формы обучения технических направлений, обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий / Е.В. Саврук, П.Е. Троян. – Томск, ФДО, ТУСУР, 2018. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: https://study.tusur.ru/study/library/ (дата обращения: 19.08.2018).

#### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Согласована на портале № 43525

### 12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется использовать базы данных и информационно-справочные системы https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh (со свободным доступом).

2. ЭБС «Лань»: www.e.lanbook.com (доступ из личного кабинета студента по ссылке http://lanbook.fdo.tusur.ru).

3. ЭБС «Юрайт»: www.biblio-online.ru (доступ из личного кабинета студента по ссылке https://biblio.fdo.tusur.ru/).

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

### 13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Кабинет для самостоятельной работы студентов

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Коммутатор MicroTeak;
- Компьютер PENTIUM D 945 (3 шт.);
- Компьютер GELERON D 331 (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-zip
- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
- Microsoft Windows
- OpenOffice

#### 13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Кабинет для самостоятельной работы студентов

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Коммутатор MicroTeak;
- Компьютер PENTIUM D 945 (3 шт.);
- Компьютер GELERON D 331 (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-zip
- Google Chrome
- Microsoft Windows
- OpenOffice
- VirtLabNano (с возможностью удаленного доступа)

#### 13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы),

Согласована на портале № 43525

расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

1. Исследовательский центр АТТ – Bell Telephone Laboratories был образован в:

1) 1930 г.
2) 1925 г.
3) 1920 г.
4) 1940 г.

2. Какой энергией должны обладать ионы при нанесении на подложку тонких плёнок различных веществ в случае ионно-лучевого осаждения?

1) 1–10 МэВ
2) 5–100 эВ
3) 100–500 кэВ

3. Тепловое излучение, по своей сущности, является

Согласована на портале № 43525

1) неравновесным
2) равновесным
3) черным
4) красным

4. В чем противоречивость модели атома Резерфорда?
1) орбиты электронов не круговые
2) у электрона нет орбиты
3) электрон должен упасть на ядро
4) орбиты электронов не эллипсоидальные

5. Точное решение уравнения Шредингера для кристалла крайне затруднено, поэтому применяют упрощающие приближения, среди которых известны:
1) приближение Бора
2) адиабатическое приближение
3) приближение рассогласования
4) одноэлектронное приближение
5) приближение Блоха

6. У полупроводников, образующих высококачественные гетеропереходы, должны совпадать:
1) модуль упругости
2) коэффициент теплового расширения
3) коэффициент преломления
4) период кристаллической решетки
5) коэффициент теплопроводности

7. Эмпирическое правило, применимое для разработки тройных растворов, образующих гетероструктуры, позволяет
1) подобрать их состав, чтобы ширина запрещенной зоны в гетеропаре была разной, а межатомное расстояние – одинаково
2) спрогнозировать скорость роста наноразмерных слоев
3) подобрать приемлемую температуру выращивания гетероструктуры

8. Чем определяется уровень развития и достижения в исследовании квантово-размерных структур?
1) общемировыми тенденциями и трендами
2) стремлением разработки искусственного интеллекта
3) совершенством и развитием технологий их получения
4) потребностями развития технологий двойного назначения

9. Важно, чтобы технология изготовления гетероструктур обеспечивала
1) очень резкую границу гетероперехода
2) высокую скорость выращивания гетероструктур
3) выращивание гетероструктур при высоких температура

10. Какая из эпитаксиальных технологий хорошо подходит для выращивания гетероструктур с резким границами и сложным профилем?
1) молекулярно-пучковая
2) газовая из металлоорганических соединений
3) жидкостная

11. При эпитаксиальном наращивании полупроводниковых слоев процессы самоупорядочения и самоорганизации возникают из-за
1) стремления выращиваемой структуры сложного состава, как физической системы, к минимуму энергии
2) стремления выращиваемой структуры сложного состава, как физической системы, к установлению равновесного состояния возникающих ростовых структурных дефектов
3) стремления выращиваемой структуры к компенсации возникающих при росте механических напряжений

12. Механизм Странского – Крастанова реализуется при рассогласовании параметров решеток гетерообразующих полупроводников в пределах

Согласована на портале № 43525

1) 4 % – 7 %
2) 15 % – 20 %
3) 20 % – 35 %

13. В кристалле полупроводника придать движению заряженного отрицательно электрона круговой характер воздействием магнитного поля труднее, чем в вакууме за счет столкновений электрона с

1) дырками
2) атомами
3) фотонами
4) протонами

14. Впервые квантовый эффект Холла наблюдался в

1) p-i-n –диоде
2) биполярном транзисторе
3) туннельном диоде
4) кремниевом полевом транзисторе

15. Влияние электромагнитного поля, сосредоточенного в области, где нет квантовой частицы, на ее квантовое состояние называется эффектом:

1) Кондо
2) Штарка
3) Аронова – Бома
4) Холла

16. Квантовый одноэлектронный транзистор работает на квантовом эффекте:

1) Штарка
2) Джозефсона
3) Кондо
4) кулоновской блокады

17. В отличие от обычных полевых транзисторов, в новейших полевых транзисторах в проводящем канале имеется

1) встроенная в канал потенциальная яма
2) дополнительный слой диэлектрика
3) добавочный управляющий электрод

18. В наноэлектронике есть возможность разместить отдельно друг от друга в разных квантовых ямах сверхрешетки электроны и дырки, что ведет к значительному увеличению их:

1) подвижностей
2) времени жизни
3) неравновесной концентрации

19. Затворным напряжением можно перестраивать тип проводимости графена

1) от электронного к дырочному
2) от примесного к собственному
3) от ионного к электронному

20. Известно несколько методов получения графена промышленного назначения, высокой чистоты в виде пластин достаточно большого диаметра

1) распыление углерода до газообразного состояния и последующее химическое осаждение
2) термическое испарение графита в вакууме
3) химическое осаждение на медную подложку из газовой фазы с использованием смеси метана и водорода
4) скоростное магнетронное распыление алмазной мишени в вакууме
5) кремниевая возгонка карборунда
6) ионно-плазменное распыление алмазной мишени в парах углерода
7) синтез графена на кремниевых подложках

### 14.1.2. Экзаменационные тесты

1. К развитию технологии получения высокочистых кристаллов контролируемого типа проводимости привели военные потребности

1) в радиолокации

Согласована на портале № 43525

2) в выпрямителях для источников питания

3) в солнечных батареях

2. Для уменьшения токов утечки при уменьшении толщины подзатворного диэлектрика

1) была создана hihg-k – технология

2) было решено в наноустройствах отказаться от полевых транзисторов с изолированным затвором

3) повышают качество подзатворного диэлектрика

3. После достижения предела дальнейшего уменьшения размеров элементов наноэлектроники возможно использование новых подходов к дальнейшему уменьшению или совершенствованию свойств:

1) использование для обработки электрических сигналов спиновых свойств вещества

2) использование свойств волновой функции электрона для обработки информации

3) повторное использование потоков носителей заряда без их утилизации

4) использование волн де Бройля для передачи информации

5) использование для электронных приборов нанотрубок на основе углерода

6) увеличение плотности упаковки наносхем за счет трехмерной сборки

4. Абсолютно черное тело на практике можно сделать как

1) деревянный ящик с черными стенками

2) мяч из черной резины

3) замкнутую металлическую полость с небольшим отверстием

4) металлический шар с черным тефлоновым покрытием

5. Во внешнем фотоэлектрическом эффекте, когда электрон покидает вещество под действием света, его энергия движения не зависит от:

1) частоты света

2) длины волны света

3) интенсивности света

6. Сущность одного из приближений решения уравнения Шредингера для кристалла состоит в пренебрежении:

1) движением ядер атомов и исключение из анализа взаимодействия электронов и ядер

2) диффузией атомов

3) обменом теплотой кристалла с окружающим пространством

7. В кристалле потенциальная энергия электронов является периодической пространственной функцией с периодом, равным

1) двум межатомным расстояниям

2) межатомному расстоянию

3) четырем межатомным расстояниям

8. С практической точки зрения наиболее привлекательны гетеропереходы, у которых образующие их полупроводники имеют неодинаковые значения:

1) коэффициента теплового расширения

2) ширины запрещенной зоны

3) периода кристаллической решетки

4) значения энергии сродства к электрону

9. Укажите, что позволяет эмпирическое правило, применимое для разработки сложных полупроводников, образующих гетероструктуры

1) подобрать их состав, чтобы межатомное расстояние в подложке и в тройном растворе было одинаково с приемлемой точностью

2) предсказать ширину квантовой ямы

3) предсказать высоту потенциального барьера

10. В легированных сверхрешетках время жизни электронов и дырок существенно возрастает за счет их пространственного разделения, что значительно затрудняет их:

1) рекомбинацию

2) декомпозицию

3) суперпозицию

11. Значительное различие межатомных расстояний в кристаллах полупроводников, образу-

Согласована на портале № 43525

ющих гетеропереходы, приводит к

1) уменьшению подвижностей носителей заряда в гетеропереходе

2) высокой концентрации дефектов вблизи гетерограницы

3) увеличению подвижностей носителей заряда в гетеропереходе

12. При эпитаксиальном выращивании пленок по механизму Странского – Крастанова происходит образование полей островков, образующих квантовые точки, в системах материалов:

1) InAs-GaAs

2) Al-Cu

3) Si-Ge

4) InAs-InP

5) Au-Sb

6) AlInAs-AlGaAs

7) Fe-Nd

8) PbSe- PbTe

13. Куперовской парой называется

1) кулоновское объединение заряженных частиц

2) электронно-дырочное взаимодействие

3) объединенное состояние двух электронов с разными спинами

14. Эффект кулоновской блокады вызван:

1) аккумуляцией зарядов на диэлектрике

2) дефектами структуры на поверхности диэлектрика

3) дефектами структуры на поверхности металла

15. Гигантское магнитосопротивление в сверхрешетках выгодно использовать для создания

1) суперсильных наногабаритных магнитов

2) устройств магнитной памяти со сверхвысокой плотностью записи

3) наноразмерных магнитных диполей

16. В квантовых приборах одноэлектроники перенос носителей заряда осуществляется за счет

1) прыжковой проводимости

2) туннелирования

3) диффузии

4) дрейфа в электрическом поле

17. Устройство MOBILE – это:

1) устройство мобильной связи

2) логическая ячейка

3) квантовый элемент системы беспроводного электропитания

18. Рабочая область лазера на основе двойной гетероструктуры представляет собой последовательность трех слоев:

1) широкозонный, узкозонный, широкозонный

2) слаболегированный, сильнолегированный, слаболегированный

3) узкозонный, широкозонный, узкозонный

4) сильнолегированный, слаболегированный, сильнолегированный

19. Электроны в графеновом слое имеют наибольшую скорость передвижения, поскольку ведут себя как

1) частицы с нулевой массой

2) сверхпроводящая жидкость

3) сверхтекучая жидкость

20. В транзисторах GNRFET роль затвора выполняет

1) подложка из кремния с большой электропроводностью

2) металлический электрод, изолированный оксидом гафния

3) металлический электрод, изолированный оксидом германия

### 14.1.3. Темы контрольных работ

Наноэлектроника

1. Изобретение планарной технологии изготовления интегральных схем позволило разме-

Согласована на портале № 43525

щать все элементы … кремниевой пластины.

1) в двух плоскостях пластины

2) на одной стороне пластины

3) на двух сторонах пластины

4) внутри пластины

2. В гетероструктуре высокого качества в кристаллах полупроводников, образующих гетеропереходы, межатомное расстояние должно быть:

1) неравным

2) равным

3) отличаться в два раза

3. Пирамидальные островки, образующие квантовые точки и сформированные по механизму Странского – Крастанова, выращиваются строго друг над другом, так как

1) в матрице-подложке в расположении островка возникают механические напряжения, притягивающие атомы следующего осаждаемого слоя

2) этому способствует соответствующая кристаллографическая ориентация подложки

3) это обусловлено соотношением диаметров атома подложки и осаждаемого слоя

4. В кристалле полупроводника для обеспечения кругового движения электрона при воздействии магнитного поля оно должно быть

1) импульсным

2) умеренным

3) достаточно слабым

4) достаточно сильным

5. В квантовом эффекте Холла величина сопротивления Холла определяется фундаментальными постоянными

1) элементарный квант действия и элементарный заряд

2) постоянная Ридберга и скорость света

3) постоянная Больцмана и электрическая постоянная

4) магнитная постоянная и масса электрона

6. В полевом транзисторе при наблюдении квантового эффекта Холла зависимость сопротивления Холла от напряжения на затворе имеет вид

1) кривой с минимумом

2) плато

3) кривой с максимумом

4) гиперболы

7. Квантовый одноэлектронный транзистор работает на квантовом эффекте:

1) Штарка

2) Джозефсона

3) Кондо

4) кулоновской блокады

8. В резонансно-туннельном диоде достигаются рабочие частоты порядка

1) Терагерц

2) Гигагерц

3) Мегагерц

9. В лавинных фотодиодах на сверхрешетках для уменьшения шума возможно сделать коэффициент ударной ионизации для электронов значительно больше, чем для дырок за счет

1) уменьшения пороговой энергии ударной ионизации при переходе электрона в узкозонный слой

2) уменьшения коэффициента ударной ионизации для дырок

3) разного действия ускоряющего электрического поля на электрон и на дырку

10. Влияние изолирующей подложки, на которой размещен лист графена, на подвижность носителей заряда в графене устраняется добавлением промежуточного слоя между подложкой и графеном из

1) оксида гафния

2) алмазоподобного углерода

Согласована на портале № 43525

3) оксида кремния

### 14.1.4. Темы лабораторных работ

Изучение принципа работы HEMT-транзисторов.

Светодиоды на основе ДГС.

### 14.1.5. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала необходимо осуществлять медленно, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;
- если в тексте встречаются термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;
- необходимо осмысливать прочитанное и изученное, отвечать на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия в форме вебинаров. Расписание вебинаров публикуется в кабинете студента на сайте Университета. Запись вебинара публикуется в электронном курсе по дисциплине.

## 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

Согласована на портале № 43525

### 14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 43525