

**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: 4**

**Семестр: 8**

**Учебный план набора 2015 года**

**Распределение рабочего времени**

| <b>№</b> | <b>Виды учебной деятельности</b>                      | <b>8 семестр</b> | <b>Всего</b> | <b>Единицы</b> |
|----------|---|------------------|--------------|----------------|
| 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          | 3.Е.           |

**Контрольные работы: 8 семестр - 1**

**Экзамен: 8 семестр**

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шелупанов А.А.  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 28.02.2018  
Уникальный программный ключ:  
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Томск 2018

## 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

## **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.

## **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 параметров 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 таблице

це 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности   | Всего часов | Семестры  |
|---|-------------|-----------|
|   |             | 8 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 |
|---|--------|--------------|--------|--------------|----------------------------|-------------------------|
| 8 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 гетероструктуры 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   |

|                          |    |   |   |     |     |                    |
|--------------------------|----|---|---|-----|-----|--------------------|
| 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<br>(самостоятельная работа под<br>руководством преподавателя)  | Трудоемкость,<br>ч | Формируемые<br>компетенции |
|--|---|--------------------|----------------------------|
| 8 семестр  |   |                    |                            |
| 1 История<br>nanoэлектроники и<br>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 nanoэлектронике. Физические проблемы и новые подходы к созданию электроники наноразмерных элементов и наноструктур. | 1                  | ОПК-2, ОПК-7, ПК-1         |
|  | Итого   | 1                  |                            |
| 2 Необходимые<br>сведения из<br>квантовой физики   | Переход от классической физики к квантовой. Работы Эйнштейна. Работы Резерфорда и Бора. Волны де Броиля и кванто-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<br>поведение электронов<br>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         |

|  |   |   |                    |
|--|---|---|--------------------|
|  | Туннелирование.   |   |                    |
|  | Итого   | 2 |                    |
| 4 Полупроводниковые гетероструктуры 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 MoS <sub>2</sub> – перспективный материал наноэлектроники. Алмаз как материал для СВЧ-приборов. Транзисторы на арсенидах 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 |

|                  |  |    |  |
|------------------|--|----|--|
|                  | 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 обеспечивающими (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 обеспечивающих 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 | +   | + | + | + | + | + | + | + |

### 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 |

|      |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|
| 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 |
|------------------------------|---|-----------------|-------------------------|
| 8 семестр                    |   |                 |                         |
| 7 Устройства наноэлектроники | Изучение принципа работы НЕМТ-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 |
|-----------|---|---------------------|-------------------------|
| 8 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                    |
|--|---|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 8 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              |                         |                                   |

|  |   |     |                    |   |
|--|---|-----|--------------------|---|
| 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 гетероструктуры 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   |

|       |     |  |  |
|-------|-----|--|--|
| 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.

## **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-dannyyh> (со свободным доступом).
2. ЭБС «Лань»: [www.e.lanbook.com](http://lanbook.fdo.tusur.ru) (доступ из личного кабинета студента по ссылке <http://lanbook.fdo.tusur.ru>).
3. ЭБС «Юрайт»: [www.biblio-online.ru](http://biblio.fdo.tusur.ru/) (доступ из личного кабинета студента по ссылке [https://biblio.fdo.tusur.ru/](http://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),

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 комфорtnого 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 ATT – 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

- 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 температурах
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

- 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) тунNELЬНОМ 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 технологий получения высокочистых кристаллов контролируемого типа проводимости привели военные потребности

- 1) в радиолокации

- 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 Броиля 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-

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 одноэлектронники 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-

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-тунNELьном 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

3) оксида кремния

#### **14.1.4. Темы лабораторных работ**

Изучение принципа работы НЕМТ-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 |

#### **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;
- представление 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.