



СИБИРСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN  
FEDERAL  
UNIVERSITY

Электронный учебно-методический комплекс

# Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники

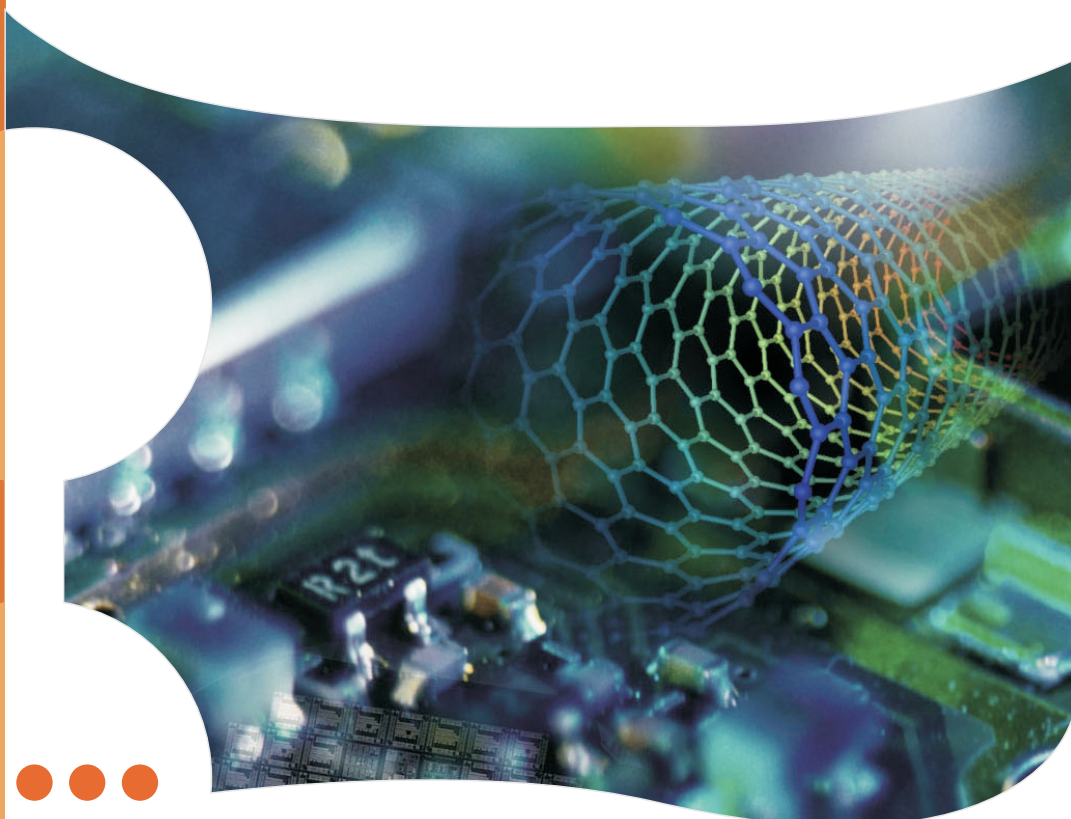
Учебная программа дисциплины

Курс лекций

Лабораторный практикум

Пособие по курсовой работе

- Методические указания по самостоятельной работе
- Банк тестовых заданий в системе UniTest



Красноярск  
ИПК СФУ  
2009

УДК 621.38(075)  
ББК 32.85я73  
Ю20

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» подготовлен в рамках реализации Программы развития федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) на 2007–2010 гг.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;

Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

Ю20 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники [Электронный ресурс]: метод. указания по самостоятельной работе / сост. В. А. Юзова. – Электрон. дан. (2 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – (Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : УМКД № 1524/1092–2008 / рук. творч. коллектива Г. Н. Шелованова). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования : *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти ; 50 Мб свободного дискового пространства ; привод *DVD* ; операционная система *Microsoft Windows XP SP 2 / Vista* (32 бит) ; *Adobe Reader 7.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*).

ISBN 978-5-7638-1686-0 (комплекса)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320902505 (комплекса)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники», включающего учебную программу дисциплины, курс лекций, лабораторный практикум, пособие по курсовой работе, контрольно-измерительные материалы «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Банк тестовых заданий», наглядное пособие «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Презентационные материалы».

В данных методических указаниях приведены структура и методика реализации всех видов самостоятельной работы, изложена методика применения кредитно-рейтинговой системы и промежуточной аттестации.

Предназначены для студентов направления подготовки магистров 210100.68 «Электроника и микроэлектроника» укрупненной группы 210000 «Электроника, радиотехника и связь», а также могут быть использованы всеми интересующимися электроникой и нанoeлектроникой.

© Сибирский федеральный университет, 2009

Рекомендовано к изданию Инновационно-методическим управлением СФУ

Редактор Л. И. Вейсова

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения Информационно-телекоммуникационного комплекса СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 30.11.2009

Объем 2 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

## Оглавление

<b>ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....</b>	<b>6</b>
Модуль 1 Современные тенденции реализации микро- и наноструктур.....	7
Модуль 2. Технологические аспекты создания устройств электроники и нанoeлектроники. ....	8
<b>2. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ ВИДОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....</b>	<b>12</b>
2.1. Методика реализации самостоятельной работы по изучению лекционного теоретического курса.....	12
2.2. Методика реализации самостоятельной работы по подготовке к лабораторным работам.....	16
2.2.1. Краткое описание лабораторных работ.....	16
2.2.2. График подготовки, выполнения и сдачи лабораторных работ.....	18
2.2.3. Методические указания к самостоятельной подготовке теоретических вопросов в лабораторных работах.....	19
2.3. Методика реализации самостоятельной работы по выполнению курсовой работы .....	20
<b>3. РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....</b>	<b>22</b>
<b>4. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРЕДИТНО- РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>25</b>
4.1. Общие понятия.....	25
4.2. Распределение трудоемкости по видам учебной работы в относительных единицах (%).....	26
4.3. Распределение трудоемкости в зачетных единицах.....	29
<b>5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ (ТЕКУЩЕЙ) АТТЕСТАЦИИ .....</b>	<b>30</b>
Аттестация 1 .....	31
Аттестация 2 .....	31
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>33</b>
Основная литература.....	33
Дополнительная литература.....	33
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>	<b>36</b>
Структура банка тестовых заданий по дисциплине «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» для направления 210100.68 «Электроника и нанoeлектроника» .....	36



## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Целью** самостоятельной работы магистранта является самостоятельное приобретение новых знаний и выработка способности к постоянному самообучению и самосовершенствованию в профессиональной и социально-общественных сферах деятельности.

**В задачи** самостоятельной работы магистрантов входит приобретение умений и навыков:

- по овладению методологией научного познания и готовности использовать ее в профессиональной сфере деятельности;
- способности анализировать, критически осмысливать и систематизировать передовой отечественный и зарубежный научный опыт в профессиональной сфере деятельности;
- готовности формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники;
- использованию современных информационных и компьютерных технологий;
- предложению новых областей научных исследований и разработок;
- подготовке материалов к докладам и публикациям;
- формулировке целей и задач работы, предложению эффективных методов их решения, обеспечению работы необходимыми ресурсами и оценке результатов работы на соответствие сформулированным целям;
- способности разрабатывать технические задания;
- применению методов контроля соответствия эксплуатационных характеристик объекта производства требованиям технического задания.

Общее число часов между самостоятельной работой и аудиторными занятиями делится поровну. Согласно программе объем дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» составляет 108 часов. Таким образом, на самостоятельную работу приходится 54 часа. По нормативам, принятым в СФУ, на курсовое проектирование отводится 36 часов. Следовательно, на другие виды самостоятельной работы должно отводиться 18 часов. Этот объем часов делится поровну между самостоятельной подготовкой теоретического курса к зачету и подготовкой к лабораторным работам.

Без самостоятельной подготовки невозможно совершенствование знаний и личности в целом. Самостоятельная подготовка заложена во все виды занятий по данной дисциплине, поэтому в самостоятельной работе реализуются практически все компетенции, отраженные программой по освоению

дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники»:

ОНК-1 – понимание определяющей роли науки в развитии цивилизации, владение методологией научного познания и готовность использовать ее в профессиональной сфере деятельности;

ОНК-2 – способность анализировать, критически осмысливать и систематизировать передовой отечественный и зарубежный научный опыт в профессиональной сфере деятельности;

ОНК-3 – способность видеть тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, предлагать новые области научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению задач в профессиональной сфере деятельности;

СЛК-1 – способность к постоянному самообучению и самосовершенствованию в профессиональной и социально-общественных сферах деятельности;

СЛК-2 – способность прогнозировать и анализировать социально-экономические, гуманитарные и экологические последствия научных открытий и новых технических решений;

ПТД-1 – способность разрабатывать технические задания, эскизные и технические проекты на изготовление приборов, схем и устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения на основе базовых конструкций и базовых технологических процессов;

НИД-1 – готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач;

НИД-2 – уметь с использованием современных языков программирования разрабатывать и обеспечивать программную реализацию эффективных алгоритмов решения сформулированных задач;

НИД-3 – знать и владеть принципами планирования и автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, владеть навыками измерений в реальном времени;

ОУД-3 – уметь разрабатывать планы и программы реализации инновационной деятельности предприятия и управлять программами освоения новых технологий и выпуска новой продукции.

## 1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Структура самостоятельной работы объемом 54 часа следующая:

- выполнение курсовой работы (**объем 36 часов**);
- самостоятельное изучение теоретического материала (**объем 9 часов**);
- самостоятельная подготовка к лабораторным работам (**объем 9 часов**).

Наглядно структуру самостоятельной работы можно представить в виде [табл.1](#).

Таблица 1

Виды самостоятельной работы и их трудоемкость

Условное обозначение	Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы	Трудоемкость, з. е./ч
ТО	1.1–2.4	Самостоятельная подготовка теоретического материала к сдаче зачета	0,25/9
ЛР	1.1–2.4	Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ	0,25/9
КР	2.1	Курсовая работа	1,0/36
	Итого:		1,5/54

Теоретический курс содержит семь тем: три темы в первом разделе (темы 1.1–1.3), четыре темы – во втором (2.1–2.4).

Ниже из программы [1] приведены названия тем, объемы з. е./ч, отводимых на освоение каждой темы как на аудиторных занятиях, так и самостоятельно.

Тема 1.1. Поверхностные и межфазные границы (аудиторные занятия – 0,11 з. е./4 ч; самостоятельная работа по теоретическому изучению темы – 0,06 з. е./2 ч).

Тема 1.2. Перспективные технологии формирования микро- и наноструктур (аудиторные занятия – 0,17 з. е./6 ч).

Тема 1.3. Квантовые основы наноинженерии (аудиторные занятия – 0,12 з. е./4 ч).

Тема 2.1. Технология квантоворазмерных систем (аудиторные занятия – 0,17 з. е./6 ч; самостоятельная работа по теоретическому изучению темы – 0,06 з. е./2 ч).

Тема 2.2. Реализация устройств на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) (аудиторные занятия – 0,11 з. е./4 ч).

Тема 2.3. Микроволновые и оптоэлектронные технологические и энергетические системы (аудиторные занятия – 0,16 з. е./6 ч).



Тема 2.4. Проблемы экстремальной электроники (аудиторные занятия – 0,17 з. е./6 ч, самостоятельная работа по теоретическому изучению темы – 0,13 з. е./5 ч).

Теоретические вопросы, рассматриваемые в каждом модуле, теме с выделением лекций и указанием вопросов для самостоятельного изучения, приведены ниже.

### Модуль 1

#### Современные тенденции реализации микро- и наноструктур.

**Объем: 0,4 з. е./14 ч – аудиторные занятия;**

**0,06 з. е./2 ч – самостоятельная работа**

**Тема 1.1. Поверхностные и межфазные границы** (аудиторные занятия – 0,11 з. е./4 ч; самостоятельная работа по теоретическому изучению темы – 0,06 з. е./2 ч).

Лекция 1 (2 ч – аудиторные занятия). Роль поверхности в создании устройств микро- и нанoeлектроники. Поверхность и ее свойства. Поверхностный потенциал. Поверхностные состояния. Уровни Тамма. Быстрые и медленные поверхностные состояния.

Лекция 2 (2 ч – аудиторные занятия, 2 ч – самостоятельная работа). Микро- и наноразмерные атомные кластеры в полупроводниках и их свойства. Микрокластеры и их энергетическое состояние. Методы получения и применения структур с атомными кластерами. Межфазные границы и их свойства.

Самостоятельное изучение 0,06 з. е./2 ч:

1. Возможность формирования структур с минимальным рассогласованием по параметрам решетки.
2. Напряженные полупроводниковые структуры, их свойства и применение.
3. Выбор материалов полупроводниковых гетеропар, их электрофизические свойства.
4. Гетеропереход  $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  как модельный элемент микро- и нанoeлектроники.

**Тема 1.2. Перспективные технологии формирования микро- и наноструктур** (аудиторные занятия – 0,17 з. е./6 ч).

Лекция 3 (2 ч – аудиторные занятия). Технологические возможности перспективных видов эпитаксии. Достижения молекулярно-лучевой эпитаксии. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.

Лекция 4 (2 ч – аудиторные занятия). Создание интегральных устройств методами литографии. Традиционная фотолитография и ее проблемы. Электронно-лучевая литография. Рентгеновская литография.

Лекция 5 (2 ч – аудиторные занятия). Литография высокого разрешения. Методы безмасочной технологии. Перьевая нанолитография. Нанопечатная литография. Электронный и ионный луч как инструмент современной технологии. Электронно-лучевая технология. Электронный луч для обработки металлов. Ионный луч.

**Тема 1.3. Квантовые основы наноинженерии** (аудиторные занятия – 0,12 з. е./4 ч).

Лекция 6 (2 ч – аудиторные занятия). Квантовые основы наноинженерии. Понятие эффекта размерного квантования. Принцип квантования и условия наблюдения квантоворазмерных эффектов. Структуры с двумерным электронным газом. Структуры с одномерным электронным газом. Структуры с нуль-мерным электронным газом. Квантовое ограничение. Интерференционные эффекты. Туннелирование.

Лекция 7 (2 ч – аудиторные занятия). Низкоразмерные кремниевые среды. Актуальность использования низкоразмерного кремния в производстве изделий микро- и нанoeлектроники. Физические принципы создания низкоразмерного кремния. Условия формирования каналов в кремнии *n*-типа проводимости. Условия формирования наноканалов в кремнии *p*-типа проводимости. Вольтамперные характеристики при формировании низкоразмерного кремния. Структурные модификации пористого кремния. Электрохимические реакции в системе «кремний – электролит». Основные свойства и применения.

### **Модуль 2. Технологические аспекты создания устройств электроники и нанoeлектроники.**

**Объем: 0,6 з. е./22 ч – аудиторные занятия; 0,19 з. е./7 ч – самостоятельная работа**

**Тема 2.1. Технология квантоворазмерных систем** (аудиторные занятия – 0,17 з. е./6 ч; самостоятельная работа по теоретическому изучению темы – 0,06 з. е./2 часа).

Лекция 8 (2 ч – аудиторные занятия). Технология тонких пленок и многослойных структур. Введение. Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок. Жидкофазная эпитаксия. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Установка МЛЭ.

Лекция 9 (2 ч – аудиторные занятия). Квантовая инженерия. Эффект размерного квантования и квантовые точки. Изготовление структур с квантовыми точками. Методы определения СКТ. Лазеры на самоорганизованных квантовых точках.

Лекция 10 (2 ч – аудиторные занятия, 2 ч – самостоятельная работа). Многослойные структуры и наноструктуры. Многослойное осаждение посредством магнетронного распыления. Поверхностные наноструктуры и ме-



тод МЛЭ. Получение поверхностных структур МОС-гидридной технологией. Химическая сборка поверхностных наноструктур. Углеродные нанотрубки.

Самостоятельное изучение 0,06 з. е./2 ч:

Низкоразмерные структуры на основе кремния. Пористый кремний. Применение низкоразмерного кремния в технологии изготовления транзисторов и интегральных схем.

**Тема 2.2. Реализация устройств на основе высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП),** аудиторные занятия – 0,11 з. е./4 ч.

Лекция 11 (2 ч – аудиторные занятия). Физическая природа сверхпроводимости. Свойства сверхпроводников. Теория сверхпроводимости. Теория Бардина – Купера – Шриффера. Эффект Джозефсона. Эффект Мейснера.

Лекция 12 (2 ч – аудиторные занятия). Высокотемпературная сверхпроводимость и ее применение. Явление высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Материалы с ВТСП. Методы получения ВТСП-пленок. Применение высокотемпературной сверхпроводимости.

**Тема 2.3. Микроволновые и оптоэлектронные технологические и энергетические системы** (аудиторные занятия – 0,16 з. е./6 ч).

Лекция 13 (2 ч – аудиторные занятия). Микроволны и их природа. История открытия микроволн. Природа микроволн. Сверхвысокочастотная терапия.

Лекция 14 (2 ч – аудиторные занятия). Элементная база микроволновых систем. История создания лазера. Полупроводниковые лазеры. Область применения лазеров. Нанолазеры. Светоизлучающие диоды. Оптоволоконные кабели.

Лекция 15 (2 ч – аудиторные занятия). Системы связи. Системы телевизионного вещания. Спутниковая связь. Сотовая связь. Оптоэлектронные системы.

**Тема 2.4. Проблемы экстремальной электроники** (аудиторные занятия – 0,17 з. е./6 ч, самостоятельная работа по теоретическому изучению темы – 0,13 з. е./5 ч).

Лекция 16 (2 ч – аудиторные занятия). Температурная и радиационная стойкость изделий электронной техники. Механизмы теплопередачи. Температурная стойкость и способы теплоотвода. Радиационная стойкость. Влияние радиации на параметры электронных устройств.

Лекция 17 (2 ч – аудиторные занятия; 2 часа – самостоятельная работа). Технологии изготовления структур КНИ. Структуры КНС, их достоинства и перспективы применения. Преимущества и перспективы карбидокремниевой электроники.

Самостоятельное изучение 0,06 з. е./2 ч:

Перспективы кремния как материала экстремальной электроники. Структуры «кремний-на-изоляторе» (КНИ) и их преимущества.

Лекция 18 (2 ч – аудиторные занятия; 3 ч – самостоятельная работа).  
Материалы и структуры экстремальной электроники. Карбид кремния в решении задач экстремальной электроники. Структуры и приборы экстремальной электроники. Запираемые тиристоры. Биполярные транзисторы с изолированным затвором. МОП-транзисторы.

Самостоятельное изучение 0,07 з. е./3 ч:

Углерод в решении задач экстремальной электроники. Ультрадисперсные алмазы в технологическом применении в устройствах экстремальной электроники.

Таким образом, на самостоятельное изучение теоретического курса выносятся следующие **вопросы**:

### **Модуль 1. Тема 1.1 (2 ч).**

#### **Лекция 2.**

1. Формирование структур с минимальным рассогласованием по параметрам решетки.

2. Напряженные полупроводниковые структуры, их свойства и применение.

3. Выбор материалов полупроводниковых гетеропар, их электрофизические свойства.

4. Гетеропереход  $\text{GaAs-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  как модельный элемент микро- и нанoeлектроники.

### **Модуль 2. Тема 2.1 (2 ч).**

#### **Лекция 10.**

5. Низкоразмерные структуры на основе кремния. Пористый кремний.

6. Применение низкоразмерного кремния в технологии изготовления транзисторов и интегральных схем.

### **Модуль 2. Тема 2.4 (5 ч).**

#### **Лекция 17 (2 ч)**

7. Структуры «кремний-на-изоляторе» (КНИ) и их преимущества.

#### **Лекция 18 (3 ч)**

8. Углерод в решении задач экстремальной электроники. Ультрадисперсные алмазы в технологическом применении в устройствах экстремальной электроники

Литературные источники для изучения этих вопросов будут приведены ниже.

### **Самостоятельная работа студентов по лабораторным работам**

Самостоятельная работа студентов по выполнению лабораторного практикума включает подготовку к лабораторным работам. Поскольку объем в часах трех лабораторных работ одинаков, то часы, отводимые на самостоятельную подготовку целесообразно поделить поровну на каждую из этих работ. Четвертая лабораторная работа выполняется в течение шести часов, поэтому самостоятельная подготовка к ней требует большего количества часов. Объем в часах для каждой лабораторной работы приведен в [табл. 1а](#).

Таблица 1а

Объем самостоятельной работы для каждой лабораторной работы

№ п/п	№ темы дисциплины. Объем самостоятельной работы в теме	Наименование лабораторных работ, объем самостоятельной работы
1	1.1–1.2	Исследование процесса формирования полупроводниковой низкоразмерной среды для создания устройств нанoeлектроники. Самостоятельная работа 2 часа (0,06 з.е.).
2	1.3	Исследование технологии создания гетеролазерной структуры методом жидкостной эпитаксии. Самостоятельная работа 2 ч (0,06 з. е.)
3	2.1–2.2	Исследование электрических и структурных дефектов поверхности полупроводниковых подложек. Самостоятельная работа 2 ч (0,06 з. е.)
4	2.3–2.4	Исследование процесса электрофоретического осаждения наноалмаза на кремниевые подложки для решения задач экстремальной электроники. Самостоятельная работа 3 ч (0,07 з. е.)
	Итого:	Самостоятельная работа 9 ч (0,25 з. е.)

Вопросы для подготовки к лабораторным работам приведены в лабораторном практикуме [3] в конце описания каждой лабораторной работы, там же даны литературные источники, которые следует использовать для подготовки к лабораторным работам.

**Целью курсовой работы** является выработка творческих и исследовательских навыков.

Тематика курсовой работы связана с аттестацией полупроводниковой твердотельной среды, выполненной в виде подложки. Курсовая работа состоит из двух частей: теоретической и экспериментальной.

В теоретической части курсовой работы следует ознакомиться и проанализировать существующие технологии обработки поверхностей подложек электроники и нанoeлектроники. Разработать и описать одну из возможных типовых технологических схем обработки поверхности полупроводниковой подложки, выполненной из заданного материала.

Экспериментальная часть курсовой работы посвящена аттестации подложек по физико-химическим параметрам.

Более подробно со структурой курсовой работы можно ознакомиться в [5]

## **2. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ ВИДОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **2.1. Методика реализации самостоятельной работы по изучению лекционного теоретического курса**

Видом итогового контроля по дисциплине согласно программе [1] является сдача зачета по теоретическому курсу. Самостоятельная работа в объеме 9 ч по изучению лекционного теоретического курса состоит в конспектировании материала и подготовке его к сдаче зачета.

При подготовке к сдаче зачета необходимо в первую очередь проработать лекционный материал, читаемый преподавателем в часы аудиторных занятий. Для этого следует воспользоваться учебным курсом лекций [2]. При использовании курса лекций нужно вначале ознакомиться с их содержанием. Уяснить, что весь теоретический курс поделен на два модуля: в первом модуле изложены различные технологии формирования микро- и наноструктур, во втором – технологические аспекты создания устройств электроники и наноэлектроники на основе сформированных наноструктур.

При изучении первого модуля надо обратить внимание на перечень всех технологических процессов, с помощью которых можно формировать среду для создания на ее основе приборов и устройств наноэлектроники. Усвоить физические принципы, лежащие в основе каждого процесса, последовательность технологических операций для достижения необходимых параметров создаваемой среды. Немаловажное значение имеет знание технологического оборудования.

Изучение второго модуля требует установления связи между формируемой средой и тем, что можно изготовить на ее основе. Необходимо четко уяснить требования к среде для создания устройства или прибора. Обратить внимание на повышение эксплуатационной устойчивости приборов. Стараться следить за тенденциями развития технологий как средства формирования среды, так и приборов на ее основе.

Самоконтроль усвоенных знаний можно провести по вопросам, приведенным в конце каждой лекции [2].

После освоения прочитанного в часы аудиторных занятий теоретического материала можно приступать к изучению вопросов, отведенных на самостоятельное изучение. При этом следует выяснить место изучаемого самостоятельно материала в общей структуре лекционного курса.

Теоретический курс содержит семь тем: три темы – в первом разделе (темы 1.1– 1.3), четыре – во втором (2.1–2.4). Обратите внимание, что не все темы и лекции содержат вопросы, которые выносятся на самостоятельное изучение ( см. раздел 1 данных методических указаний).

При самостоятельном изучении теоретического материала надо руководствоваться следующими рекомендациями.

**Материал к самостоятельному изучению вопросов темы 1.1 (2 ч)** для лекции 2 изложен в [[7, параграфы 1.2, 6.1, 6.2, 6.6](#)]:

1. Формирование структур с минимальным рассогласованием по параметрам решетки.
2. Напряженные полупроводниковые структуры, их свойства и применение.
3. Выбор материалов полупроводниковых гетеропар, их электрофизические свойства.
4. Гетеропереход  $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  как модельный элемент микро- и наноэлектроники.

#### Вопросы для самопроверки

1. Необходимые свойства гетеропереходов для реализации квантово-размерных гетероструктур.
2. Какой гетеропереход чаще всего используют для изготовления квантоворазмерной структуры и почему?
3. Что общего и какова разница между однобарьерной и двухбарьерной гетероструктурами?
4. Каковы электрофизические параметры полупроводников в гетеропаре  $\text{GaAs} - \text{AlAs}$ ?
5. Что понимают под квантовой точкой? Каковы способы технологической реализации квантовых точек?
6. Какой метод является основным для изготовления качественных гетероструктур?
7. Каковы преимущества лазера на квантовых точках по сравнению с лазером на квантовых ямах?

**Материал к самостоятельному изучению вопросов темы 2.1 (2 ч)** для лекции 10 изложен в [[6, параграф 4.3](#)]:

1. Низкоразмерные структуры на основе кремния. Пористый кремний.
2. Применение низкоразмерного кремния в технологии изготовления транзисторов и интегральных схем

#### Вопросы для самопроверки

1. Почему применение пористого кремния в технологии изготовления транзисторов позволяет улучшить их рабочие характеристики?
2. В чем заключается неполная диэлектрическая изоляция элементов ИС на основе окисленного пористого кремния?
3. Каковы варианты неполной диэлектрической изоляции элементов ИС на основе окисленного пористого кремния?

4. В чем заключается полная диэлектрическая изоляция элементов ИС на основе окисленного пористого кремния?
5. Каковы варианты полной диэлектрической изоляции элементов ИС на основе окисленного пористого кремния?
6. Какие материалы используют для маскирования в процессе полной диэлектрической изоляции?
7. Какой метод применяют для превращения эпитаксиального кремния в пористый кремний в процессе полной диэлектрической изоляции?
8. На каком этапе процесса полной диэлектрической изоляции элементов ИС с формированием эпитаксиального слоя на окисленном пористом кремнии осуществляют анодную обработку поверхности пластины?

**Материал к самостоятельному изучению вопросов темы 2.4** для лекции 17 (2 ч) изложен в [\[6, параграфы 3.2, 3.3\]](#):

1. Перспективы кремния как материала экстремальной электроники. Структуры «кремний-на-изоляторе» (КНИ) и их преимущества.

#### Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается перспективность структур КНИ для реализации нанотранзистора?
2. Какова минимальная длина канала МОП-транзистора, достигаемая с использованием КНИ-структур?
3. Какая технология лежит в основе отечественного производства КНИ-структур?
4. Чем обусловлена радиационная стойкость структур КНИ и устройств на их основе по сравнению с традиционными структурами?
5. В чем заключаются достоинства отечественной технологии DeleCut изготовления КНИ-пластин по сравнению с зарубежной технологией SmartCut?
6. Каковы предпосылки трехмерной интеграции в оптоэлектронных и микросистемных устройствах на основе приложений многослойных КНИ-структур?
7. Какова отличительная особенность сенсоров на КНИ-структурах?
8. Каковы предпосылки применения структур КНИ для создания оптоэлектронных и микроэлектромеханических систем?

**Материал к самостоятельному изучению вопросов темы 2.4** для лекции 17 (3 ч) изложен в [\[3, 8, 17, 18, 19, 20, 21, 23\]](#):

1. Углерод в решении задач экстремальной электроники. Ультрадисперсные алмазы в технологическом применении в устройствах экстремальной электроники



**Вопросы для самопроверки**

1. Какие существуют аллотропные разновидности углерода?
2. Опишите кристаллическую решетку алмаза.
3. Каков тип химической связи атомов углерода в алмазе.
4. Каким материалам присущи  $sp^3$ -,  $sp^2$ -,  $sp$ -гибридизации валентных электронов при образовании связей?
5. Перечислите уникальные свойства алмазов.
6. В чем специфичность свойств алмазов детонационного синтеза?
7. Как получают алмазы детонационным синтезом?
8. Дайте понятия суспензии и золя.
9. В чем заключается процесс электрофореза?
10. Почему наноалмазы детонационного синтеза термодинамически неустойчивы?
11. Для каких целей проводят модифицирование поверхности наноалмазов детонационного синтеза?
12. В каких режимах можно проводить процесс электрофоретического осаждения наноалмаза на кремниевые подложки?

Сдача зачета по теоретическому курсу согласно программе осуществляется на 18-й неделе в виде итогового тестирования. Для итогового контроля знаний, умений и навыков, в соответствии с требованиями к компетенциям магистра, применяются контрольно-измерительные материалы в виде тестовых заданий. Итоговый контроль осуществляется при сдаче зачета в аттестационную неделю. Общее количество тестовых заданий 360.

Из них:

- тестовых заданий типа «Выбор одного правильного ответа из двух и более предложенных альтернатив (М:1) – 120 (33,8 %);
- тестовых заданий типа «Выбор нескольких правильных ответов из предложенных альтернатив» (М:М) – 94 (26 %);
- тестовых заданий на установление правильной последовательности (П) – 25 (6,7 %);
- тестовых заданий на дополнение суждения или понятия (Д) – 99 (27,6 %);
- тестовых заданий на соответствие (С) – 21 (5,9%).

Структура тестовых заданий приведена в приложении.

Тестирование проводится индивидуально письменно или с помощью компьютера [25] по усмотрению преподавателя. Вид тестирования сообщается заранее. Тестирование, как правило, смешанное, т. е. тестируемый сам выбирает порядок выполнения заданий. Можно проводить тестирование отдельно по каждому из двух модулей.

### 2.2. Методика реализации самостоятельной работы по подготовке к лабораторным работам

#### 2.2.1. Краткое описание лабораторных работ

На самостоятельную работу по подготовке к лабораторным работам согласно программе [1] отводится 9 ч.

Учебной программой дисциплины планируется четыре четырехчасовые лабораторные работы, краткое содержание которых приведено ниже.

#### Лабораторная работа № 1 Исследование процесса формирования полупроводниковой низкоразмерной среды для создания устройств наноэлектроники

Низкоразмерная среда представляет собой слой или слои на пластинах монокристаллических полупроводников с различной кристаллографической ориентацией, в которых электрохимическим способом формируются поры нанометрового размера.

В лабораторной работе необходимо ознакомиться с механизмами порообразования и электрохимическими методами травления полупроводников.

Предметом исследований являются структурные характеристики пористых слоев в зависимости от используемых электролитов, технологических режимов формирования низкоразмерной среды, способов подвода тока к электрохимической ячейке.

В работе с помощью оптического и растрового электронного микроскопов определяют геометрические параметры и морфологические особенности пор.

В отчете к лабораторной работе приводят микрофотографии полученной низкоразмерной среды, расчеты ее геометрических параметров, описание морфологических особенностей пор.

#### Лабораторная работа № 2 Исследование технологии создания гетеролазерной структуры методом жидкостной эпитаксии

В качестве гетеролазерной структуры используется двойная гетероструктура (ДГС) системы «галлий – алюминий – мышьяк».

В лабораторной работе необходимо ознакомиться с закономерностями и факторами, оказывающими влияние на процесс формирования гетерогенной системы и механизм зарождения новой фазы в условиях направленной

кристаллизации и ориентированного нарастания, а также методом жидкостной эпитаксии.

Предметом исследования являются геометрические и структурные характеристики эпитаксиальных слоев, входящих в гетеролазерную структуру.

Студенту выдают готовую гетероструктуру, полученную при различных технологических режимах жидкостной эпитаксии.

В работе с помощью селективного травления выявляют границы слоев и на оптическом микроскопе определяют толщины слоев. На основании известных диаграмм состояния и данных о растворимости компонентов твердого раствора рассчитывают температуру эпитаксии и весовые соотношения между компонентами в шихте, требуемыми для выращивания всех слоев гетеролазерной структуры.

В отчете к лабораторной работе приводят температурный профиль выращивания гетеролазерной структуры и таблицы рассчитанных масс компонентов шихты по слоям.

### Лабораторная работа № 3

#### Исследование электрических и структурных дефектов поверхности полупроводниковых подложек

Подложкой может служить полированная полупроводниковая пластина (исходная пластина) и полупроводниковая пластина с эпитаксиальным слоем (приборная структура).

В лабораторной работе необходимо ознакомиться с видами дефектов, которые возникают при получении исходных подложек и эпитаксиальных структур. В работе следует изучить методы визуализации дефектов с помощью химического травления и метода нематического жидкого кристалла (метода НЖК).

Предметом исследования является обнаружение электрических и структурных дефектов подложек

Электрические дефекты (неравномерность распределения поверхностных потенциалов и мерцающие электрически активные дефекты) определяют методом НЖК. Структурные дефекты выявляют анизотропным химическим травлением и визуализацией с помощью оптического микроскопа.

В отчете к лабораторной работе описывают технологию подготовки подложек для измерения плотности дислокаций, приводят микрофотографии поверхности с распределением поверхностных потенциалов и наличием мерцающих дефектов, определяют размеры дислокаций (минимальный и максимальный), рассчитывают плотность дислокаций.

### Лабораторная работа № 4

#### Исследование процесса электрофоретического осаждения наноалмаза на кремниевые подложки для решения задач экстремальной электроники

Кремниевая подложка является важнейшим элементом электронной техники. На ее поверхности и в объеме производятся различные структуры, из которых формируются приборы современной электроники. Защищая подложки алмазными покрытиями, можно решать проблемы теплостойкости и радиационной стойкости приборов. Исследуемой подложкой является полированная с двух или с одной стороны пластина монокристаллического кремния электронного типа электропроводности, вырезанная перпендикулярно кристаллографическому направлению (100).

В лабораторной работе необходимо ознакомиться с детонационным методом получения наноалмазов, свойствами наноалмазов детонационного синтеза и методом электрофореза, используемым для осаждения наноалмазов на поверхности изделий из различных материалов, способами приготовления суспензий.

Предметом исследований в лабораторной работе является определение структуры и равномерности осажденных алмазных покрытий в зависимости от режимов электрофореза, а также количества осажденного на поверхность алмаза.

Для работы студенту выдают кремниевую подложку и задают режимы электрофоретического осаждения наноалмазов. Структурные характеристики осажденных пленок определяют с помощью растрового электронного микроскопа.

В отчете к лабораторной работе приводят описание технологии электрофореза и микрофотографии осажденных алмазных пленок.

#### 2.2.2. График подготовки, выполнения и сдачи лабораторных работ

Подготовка к лабораторной работе начинается сразу после ее выдачи. Выдача лабораторных работ производится в соответствии с графиком, приведенным в [53] и [табл. 2](#), на 1, 5, 9, 13-й неделях.

Таблица 2

График выполнения и защиты лабораторных работ

Недели учебного процесса семестра																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ВЛР1		ЗЛР1		ВЛР2		ЗЛР2		ВЛР3		ЗЛР3		ВЛР4		ВЛР4		ЗЛР4 1,2,3	

Студент изучает требования к лабораторной работе по ее описанию, представленному в лабораторном практикуме [3]. При этом следует четко

представлять цели и задачи лабораторной работы, объект исследования, порядок выполнения работы. По дополнительным описаниям, прилагаемым к измерительным приборам, установкам нужно ознакомиться с их принципом действия, точностью измерений.

Для допуска к выполнению лабораторной работы студент должен представить последовательность ее выполнения, научиться правильно подключить все схемы и изучить принцип работы используемых приборов, а также научиться применять все химические реактивы.

Самоконтроль по усвоению материала лабораторной работы осуществляется по вопросам, представленным в конце описания каждой лабораторной работы. Количество вопросов в каждой лабораторной работе не одинаково, но не менее 10.

#### 2.2.3. Методические указания к самостоятельной подготовке теоретических вопросов в лабораторных работах

**В первой** лабораторной работе с перспективами применения низкоразмерного (пористого) кремния можно ознакомиться в [[3, подраздел 1.3.1](#)], а также в [[2, раздел 7.1](#)].

При изучении физических принципов получения пористого кремния надо обратить внимание на условия получения каналов в кремнии *n*-типа проводимости [[3, подраздел 1.3.2](#)], [[2, раздел 7.3](#)], *p*-типа электропроводности [[3, подраздел 1.3.2](#)] и [[2, раздел 7.4](#)], на форму вольт-амперной характеристики (ВАХ) и местонахождение рабочей точки на ВАХ [[3, подраздел 1.3.3](#)], [[2, раздел 7.5](#)], а также [[10, с. 101–107](#)].

Структурные модификации пористого кремния рассмотрены в [[3, подраздел 1.3.4](#)], [[2, раздел 7.6](#)] и [[11](#)].

Электрохимические реакции в системе «кремний – электролит» изложены в [[3, подраздел 1.3.5](#)] и [[2, раздел 7.7](#)].

С основными свойствами и применением низкоразмерного кремния можно ознакомиться в [[2, раздел 7.8](#)] и [[5, 10, 15](#)].

Описание электрохимических ячеек для получения низкоразмерного кремния дано только в [[3, подраздел 1.3.6](#)].

Составы, назначение и свойства электролитов приведены в [[3, подраздел 1.3.7](#)], [[10, с. 101–107](#)] и [[11, с. 359–363](#)].

**Во второй** лабораторной работе для изучения свойств гетеролазерной структуры и ее преимуществ по сравнению со структурой гомолазера следует обратиться к [[3, подраздел 3.1](#)]. В качестве дополнительных источников информации рекомендуется привлечь следующие: [[2, лекции 6 и 14](#)], а также [[7, 18](#)].

Сущность процесса жидкостной эпитаксии, влияние температуры на растворимость арсенида галлия в расплаве галлия, связь температуры эпитаксии и толщины выращиваемого слоя, условие пересыщения раствора

мышьяком, условие кристаллизации на подложке твердой фазы рекомендуется изучать по следующим источникам: [3, подраздел 2.3.2], а также [7, 13].

**В третьей** лабораторной работе для изучения причин появления структурных и электрических дефектов поверхности подложки нужно обратиться к следующим источникам информации: [3, подраздел 3.3.1, 3.3.2], а также [7, 13].

Информацию по составам селективных травителей можно получить из [3, подраздел 3.3.1]. Физические принципы селективного травления изложены в [18] и [22]. Дополнительные сведения по составам альтернативных травителей, которыми располагает кафедра, предоставляет преподаватель.

Возможности метода НЖК для диагностики зарядового состояния поверхности отражены в [3, подраздел 3.3.2], а также [14 и 16].

**В четвертой** лабораторной работе рекомендуется с описанием детонационного метода получения наноалмазов ознакомиться в [3, подраздел 4.3.9] и [17, 23]. Свойства наноалмазов детонационного синтеза изложены в [3, подраздел 4.3.10] и [17], а модифицированных наноалмазов в [3, подраздел 4.3.17], и в [19, 20, 21]. Понятие наносuspensions дано в [3, подраздел 4.3], а их использование приведено в [21]. Физические основы электрофореза изложены в [3, подраздел 4.3.12, 4.3.14, 4.3.16] и в [18].

### 2.3. Методика реализации самостоятельной работы по выполнению курсовой работы

В курсовой работе согласно [1, 4] требуется выполнить две части, которые оформляются в виде разделов пояснительной записки.

1. Разработка и описание технологической схемы обработки полупроводниковых подложек наноэлектроники.

2. Определение основных параметров подложки, выполненной из «...» (вписать заданный материал).

Структура каждой части работы изложена в главе 1 учебного пособия по курсовой работе [4].

Курсовая работа, согласно учебному графику дисциплины [1, 5], выдается на 2-й неделе. Получив у преподавателя полупроводниковую подложку из известного материала, студенту необходимо выяснить цели и задачи курсовой работы, задание, график работы.

Курсовую работу студент выполняет самостоятельно. Рекомендуются следующие этапы и сроки подготовки курсовой работы.



**Этап 1.** Анализ технологии получения подложек. Разработка технологической схемы обработки поверхности подложки. Оформление первого раздела курсовой работы.

Этап выполняется на 3, 4, 5-й неделях.

**Этап 2.** Определение фазового состава материала подложки. Подтверждение полученным результатом того, что подложка выполнена из заданного материала.

Этап выполняется на 6-й неделе.

**Этап 3.** Исследование кристаллографической ориентации поверхности подложки и ее кристаллической структуры. Определение плотности дислокаций.

Этап выполняется на 7-й неделе.

**Этап 4.** Измерение удельной электропроводности материала подложки.

Этап выполняется на 8-й неделе.

**Этап 5.** Определение типа электропроводности и концентрации основных носителей. Расчет подвижности основных носителей.

Этап выполняется на 9-й неделе.

**Этап 6.** Определение диффузионной длины и времени жизни неосновных носителей.

Этап выполняется на 10-й неделе.

**Этап 7.** Оформление курсовой работы. Выполняется на 11, 12, 13-й неделях.

**Этап 8.** Проверка курсовой работы. Проверка осуществляется в часы аудиторных занятий, отведенных на 14-й неделе.

**Этап 9.** Публичная защита курсовой работы. Защита назначается по особому графику вне часов аудиторных занятий.

Можно поменять местами этапы 1–6, изменить их сроки. Последовательность и сроки этапов 7, 8, 9 обязательны.

Все необходимые рекомендации по выполнению и оформлению каждого этапа курсовой работы приведены в учебном пособии [4].

Курсовую работу преподаватель проверяет на 14-й неделе. По результатам проверки осуществляется допуск работы к публичной защите, которую назначают по дополнительному графику вне часов аудиторных занятий.

### **3. РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

График учебного процесса и самостоятельной работы приведен в [\[1\]](#) и [табл. 3](#).

График учебного процесса и самостоятельной работы

Число часов аудиторных занятий		Часов на самостоятельную работу		Недели учебного процесса семестра																	
Всего	По видам	Всего часов	По видам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
54	Лекции –36	54	ТО–9	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТТ	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО	ТО
	ЛР–18		ЛР–9	ВЛР1		ЗЛР1		ВЛР2		ЗЛР2		ВЛР3		ЗЛР3		ВЛР4		ВЛР4		ЗЛР1,2,3,4	21
			КР–36		ВКР												ПКР	СКР			
			ИТ																		
			КН								КН										

**Условные обозначения:** ТО – изучение теоретического курса; КР – курсовая работа; ВКР – выдача курсовой работы; СКР – сдача курсовой работы;; ПКР – проверка курсовой работы; ЛР – лабораторные работы; ВЛР – выполнение лабораторной работы; ЗЛР – защита лабораторной работы; КН – контрольная неделя (неделя текущей аттестации); ПК – промежуточный контроль (проверка КР – ПКР); ИТ – итоговое тестирование (итоговый контроль).

Согласно приведенному графику аудиторное изучение теоретического курса осуществляется в течение 18 недель. После 7-й недели будет изложен на лекциях теоретический материал первого модуля, т. е. материал тем 1.1–1.3, на которые отводится 14 ч. Следовательно, на 8-й неделе можно назначать контрольную неделю (неделю текущей аттестации).

Второй модуль (темы 2.1–2.4) изучают с 8-й по 18-ю недели, т. е. в течение 11 недель (22 ч). Отводимые на реализацию самостоятельной работы по изучению теоретического курса 9 ч делятся по разделам лекционного курса следующим образом. На самостоятельное изучение теоретического материала и подготовку его к сдаче зачета по первому модулю предусматривается 2 ч, по второму – 7 ч.

Реализовать график сдачи всего теоретического материала можно по согласованию с преподавателем несколькими способами.

- сдать зачет на 18-й неделе по теоретическому материалу обоих разделов одновременно (итоговое тестирование);
- сдать зачет на 18-й неделе по теоретическому материалу обоих модулей последовательно, т. е. сдать теоретический материал первого модуля, а затем – второго;
- сдать зачет на 8-й неделе (1-й неделе текущей аттестации) теоретический материал первого модуля, на 18-й неделе – второго модуля.

Предпочтение отдается первому способу.

При реализации графика самостоятельной работы по лабораторным работам нужно учитывать следующее. Выдача и выполнение лабораторных работ производится в часы аудиторных занятий на 1, 5, 9, и 13-й неделях. В это время на занятиях по лабораторным работам необходимо ознакомиться с целями, задачами, лабораторной работы, предметом исследований, оборудованием, приготовить все необходимые таблицы для занесения в них результатов измерений, получить допуск к работе у преподавателя и выполнить работу. Самостоятельная работа по подготовке теоретического материала к лабораторной работе, проведение всех расчетов, оформление отчета и подготовка к защите работы осуществляется на следующей неделе после выдачи работы, т.е. на 2, 6, 10 и 14-й неделях. На 3, 7, 11 и 17-й неделях в часы аудиторных занятий проводится защита лабораторных работ.

К 8-й неделе (первой контрольной неделе) должно быть выполнено и защищено две лабораторные работы. На 17-й неделе защищают последнюю работу. Для отстающих студентов предусмотрено время на 17-й неделе для сдачи задолжностей по всем лабораторным работам.

Реализация графика самостоятельного выполнения курсовой работы осуществляется следующим образом. Курсовая работа выдается на второй неделе учебного процесса и выполняется по этапам. Содержание и сроки этапов изложены в подразделе 2.3 настоящих методических указаний. К 8-й неделе (1-й контрольной неделе) должно быть выполнено 3 этапа курсовой работы, т. е. разработана и описана технологическая схема обработки поверхности полупроводниковой подложки, определены фазовый состав материала подложки, кристаллографическая ориентация и плотность дислокаций.

К 14-й неделе полностью выполненную курсовую работу проверяет преподаватель и выносит решение о времени публичной защиты. Защита проводится на 15-й неделе по особому графику вне часов аудиторных занятий.

## 4. МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРЕДИТНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ

### 4.1. Общие понятия

Приоритетные направления государственной политики в сфере образования формулируются как непрерывное (в течение всей жизни) обеспечение доступности качественного образования за счет повышения инвестиционной привлекательности сферы образования.

Одним из основных механизмов реализации приоритетов является создание единой системы зачетных (кредитных) единиц в модульных образовательных программах.

С провозглашением 18 сентября 1988 года в г. Болонья Всеобщей хартии университетов начала развиваться межвузовская система зачетных единиц с целями достижения международной академической эквивалентности.

Масштабные и интенсивные интеграционные процессы последнего времени в странах Европейского союза имеют цель обеспечить конкурентоспособность европейской экономики в ситуации экономической глобализации и распространяются на профессиональное образование и обучение с задачами:

- ускоренный переход к обществу, основанному на знаниях;
- реализация стратегии обучения в течение всей жизни;
- расширение возможностей освоения квалификаций, в том числе и путем постепенного накопления единиц квалификаций и (или) компетенций (так называемых «зачетных (кредитных) единиц»).

Этот принципиально новый подход к системе зачетных единиц следует из Копенгагенской декларации (ноябрь 2002 года), в которой, в частности, сформулирована задача создания единой системы переноса зачетных (кредитных) единиц, обеспечивающей европейское признание компетенций и (или) квалификаций, общие принципы сертификации и др.

В настоящее время в зачетную единицу вкладывается смысл единой меры следующих факторов:

- трудоемкости учебных планов и образовательных программ, в том числе трудоемкости отдельных дисциплин и их разделов;
- трудоемкости видов учебной работы студента;
- трудоемкости учебно-методической деятельности преподавателя;
- объем знаний и компетенций, из набора которых формируется модуль и полные квалификации.

Последнее замечание делает понятными задачи эксперимента по организации учебного процесса в вузе с использованием системы зачетных единиц, проводимого с 2002 года Минобразования России.

*Зачетная единица* (кредитная единица, кредит, образовательный кредит) – условный параметр, рассчитанный на основе экспертной оценки совокупных трудозатрат при изучении стандартного по объему и структуре учебного курса за минимальный период обучения, предусматривающий аттестацию. В СФУ в качестве зачетной единицы принимают 36 академических часов трудозатрат студента на освоение дисциплины [24].

*Кредитная система профессионального образования* – система организации учебного процесса, предусматривающая оценку уровня освоения студентом каждой отдельной дисциплины и образовательной программы в целом числом успешно освоенных кредитов из их известного общего количества. Число успешно освоенных кредитов является рейтинговой оценкой (рейтингом) студента, кредитную систему профессионального образования называют также рейтинговой системой оценки успеваемости.

Трудоемкость дисциплины представляется суммой трудоемкостей всех оцениваемых видов учебной работы. Трудоемкости могут выражаться:

- в зачетных единицах (кредитах),
- в процентах и /или долях общей трудоемкости.

*Лист контрольных материалов (ЛКМ)* – документ, в котором указаны все виды контроля по дисциплине, включая виды учебной работы, оцениваемые в течение семестра, их трудоемкости, а также обязательный минимум по дисциплине для допуска к зачету и/ или экзамену.

## 4.2. Распределение трудоемкости по видам учебной работы в относительных единицах (%)

В соответствии с положением СФУ [24] распределение трудоемкости  $T$  по видам учебной работы ( $i = 1, 2, \dots, n_i$ ) производится в долях для дисциплины ( $j = 1, 2, \dots, n_j$ ) по семестрам ( $s = 1, 2, \dots, n_s$ ) в следующих предположениях:

- виды учебной работы ( $i = 1, 2, \dots, n_i$ ) контролируются;
- общая трудоемкость каждой изучаемой в семестре дисциплины равна 1,0 или 100 %;
- трудоемкость текущей работы равна 0,5 или 50 %;
- трудоемкость аттестации равна 0,5 или 50 %.

Вид учебной работы рассматривается как деятельность студента и преподавателя, приводящая к росту компетенций обучаемого. Трудоемкость вида учебной работы оценивается преподавателем в долях (внутри учебной дисциплины).



Аттестация («сдача зачета» и «сдача экзамена») рассматривается как вид деятельности, приводящий к становлению особых (системных) компетенций.

Трудоемкость «самостоятельного изучения материала» концентрируется в конспектировании материала, выносимого на самостоятельное изучение, закрепление материала через решение задач и выполнение тестов. Часть трудоемкости самостоятельной работы (помимо конспектирования) распределяется по другим видам, например, «защита лабораторных работ», «выполнение заданий на практических занятиях», «сдача зачета или экзамена».

По положению СФУ [24] регламентируются следующие виды учебной работы: посещение лекций, самостоятельное изучение материала, выполнение и защита лабораторных работ, выполнение и защита КП (КР), выполнение заданий на практических занятиях, сдача зачета, сдача экзамена. Поскольку рабочей программой дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» [1] самостоятельное изучение теоретического материала входит в подготовку и защиту лабораторных работ и подготовку к зачету по лекционному теоретическому материалу, то раздел «Самостоятельное изучение материала» не планируется отдельно в видах учебной работы. Этот раздел перераспределяется между разделами «Выполнение и защита лабораторных работ» и «Сдача зачета». В видах учебной работы [1] не планируются также разделы «Выполнение заданий на практических занятиях» и «Сдача экзамена» из-за их отсутствия в рабочей программе дисциплины.

Значит, в течение семестра преподаватель будет оценивать следующие виды текущей работы студента:

- посещение лекций,
- выполнение и защита лабораторных работ,
- выполнение и защита курсовой работы.

**Распределение трудоемкости по модулям** осуществляется следующим образом.

Посещение лекций важно как для 1-го модуля, так и для второго, поэтому трудоемкость одинакова и составляет по 5 %, т. е. в относительных единицах 0,05.

По первому модулю выполняют две первые лабораторные работы из четырех, трудоемкость которых согласно программе [1] и разделу 1 данных методических указаний составляет одинаковое число как аудиторных занятий, так и часов, отводимых на самостоятельную подготовку. Будем считать эти работы равноценными. По второму модулю выполняют также две лабораторные работы. Несмотря на то, что трудоемкость четвертой работы немного выше, будем считать работы также равноценными. Для первого и второго модулей трудоемкость выполнения лабораторных работ составит по 10 %, т. е. по 0,1 относительной единицы.

Трудоемкости по такому виду работ, как сдача зачета, назначают исходя из количества академических часов, отводимых программой дисциплины на освоение разделов. На освоение первого раздела отводится 14 академических часов, а на освоение второго раздела 22 академических часа. Поэтому трудоемкость этого вида учебной работы для освоения второго раздела дисциплины всегда больше.

Курсовую работу защищают по изучении обоих разделов, поэтому трудоемкость этого вида работы планируется на конец семестра.

Виды учебной работы и распределение трудоемкости в относительных единицах по видам учебной работы дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» [1] осуществляются согласно табл. 4.

Таблица 4

Распределение в относительных единицах трудоемкости дисциплины  
«Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники»  
по видам учебной работы

Название разделов дисциплины	Срок реализации раздела, недели	Трудоемкость ( $T$ ) дисциплины по видам учебной работы ( $i$ ) $T_i$ , отн. ед. (%)				Итого
		1,0 (100 %)				
		Текущая работа			Аттестация	
		$T_i \leq 0,5$ (50 %)			$T_i \geq 0,5$ (50 %)	
		Посещение лекций	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение и защита КР	Сдача зачета	
Всего относительных единиц	1–18	0,1 (10 %)	0,2 (20 %)	0,2 (20 %)	0,5 (50 %)	1 (100 %)
Модуль № 1. Современные тенденции реализации микро- и наноструктур	1–7	0,05 (5%)	0,1 (10 %)	–	0,2 (20 %)	0,35 (35 %)
Модуль № 2. Технологические аспекты создания устройств электроники и нанoeлектроники	8–18	0,05 (5 %)	0,1 (10 %)	0,2 (20 %)	0,3 (30 %)	0,65 (65 %)

Условие нормировки будет иметь вид  $\sum_{i=1}^4 T_i = 1$ .

Результат каждого вида работы может быть оценен в 100-балльной шкале или 4-балльной – «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично».

## 4.3. Распределение трудоемкости в зачетных единицах

При расчете в зачетных единицах (з. е.) трудоемкости дисциплины (трудоемкость аудиторной, самостоятельной работы а также трудоемкость зачета и курсового проекта) руководствуются нормой 1 з. е. = 36 ак. ч [83], т. е.

$$z_j T_{a.чj} / 36,$$

где  $z_j$  – трудоемкость дисциплины ( $j$ ) в семестре в зачетных единицах;  $T_{a.чj}$  – трудоемкость дисциплины (включая аудиторную и самостоятельную работу) в академических часах.

Согласно ОПП по направлению 210100.68 «Электроника и нанoeлектроника» на дисциплину «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» [1] отводится 3 з. е., т. е. 108 академических часов.

Трудоемкости видов учебной работы в зачетных единицах определяются пропорционально трудоемкости в относительных единицах (см. табл. 4). Такое распределение представлено в табл. 5.

На основании табл. 4 и табл. 5 распределения трудоемкости видов учебных работ создается лист контрольных материалов (ЛКМ), выдаваемый студентам по каждой дисциплине [24].

Таблица 5

Распределение в относительных и зачетных единицах трудоемкости дисциплины  
«Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники»  
по видам учебной работы

Название разделов дисциплины	Срок реализации раздела, недели	Трудоемкость ( $T$ ) дисциплины по видам учебной работы ( $i$ ) $T_i$ , отн. ед./з. е.				Итого
		1,0 (100 %)				
		Текущая работа			Аттестация	
		$T_i \leq 0,5$ (50 %)			$T_i \geq 0,5$ (50 %)	
		Посещение лекций	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение и защита КР	Сдача зачета	
Всего отн. ед.	1–18	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,2}{0,6}$	$\frac{0,2}{0,6}$	$\frac{0,5}{1,5}$	$\frac{1}{3,0}$
Модуль № 1. Современные тенденции реализации микро- и наноструктур	1–7	$\frac{0,05}{0,15}$	$\frac{0,10}{0,3}$	–	$\frac{0,2}{0,6}$	$\frac{0,35}{1,05}$
Модуль № 2. Технологические аспекты создания устройств электроники и нано-электроники	8–18	$\frac{0,05}{0,15}$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,2}{0,6}$	$\frac{0,3}{0,9}$	$\frac{0,65}{1,95}$

Обязательным минимумом по дисциплине является:

Посещение лекций – 50 %

Выполнение и защита лабораторных работ – 100 %

Выполнение и защита курсовой работы – 100 %

Тестирование – положительный результат по двум разделам

## 5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ (ТЕКУЩЕЙ) АТТЕСТАЦИИ

Текущая аттестация проводится в каждом вузе по принятому графику. Количество аттестаций тоже устанавливает вуз. Предположим, что будет назначено две контрольные (аттестационные) недели: на 8-й и 18-й неделях.

Студенту выдается лист контрольных мероприятий (ЛКМ), включающий трудоемкости всех видов учебных работ. Это, по сути, [табл. 4](#) или [табл. 5](#). Используем ЛКМ на две текущие аттестации.

Будем производить аттестацию по средневзвешенной оценке в 100-бальной шкале [\[24\]](#).

Средневзвешенная оценка  $b$  устанавливается как сумма оценок  $b_i$ , умноженных на трудоемкость  $z_i$  оцениваемых видов учебной работы за период аттестации, деленная на общую трудоемкость за период аттестации (округляется до целых, может принимать значения от 0 до 100):

$$b = \frac{b_1 z_1 + b_2 z_2 + \dots + b_m z_m}{z_1 + z_2 + \dots + z_m},$$

где  $i = 1, 2, \dots, m$  – номера оцениваемых видов учебной работы;  $m$  – количество оценок.

Если средневзвешенная оценка рассчитывается для конкретной дисциплины, то трудоемкости каждого оцениваемого вида работ  $z_i$  измеряются в %, и суммарная трудоемкость  $Z = z_1 + z_2 + \dots + z_m$  всегда будет равна 100 %.

Согласно графику учебного процесса ([табл. 3](#)) к 8-й неделе должно быть посещено 7 лекций трудоемкостью 3,8 % (из расчета 18 лекций – это 10 % трудоемкости, а 7 лекций – 3,8 % трудоемкости), выполнено первые 2 лабораторные работы трудоемкостью 15 % (см. [табл. 4](#)). Курсовая работа не оценивается на первой аттестации.

Ко второй аттестации должно быть посещено 11 лекций ( $18 - 7 = 11$ ) трудоемкостью 6,2 % ( $10 \% - 3,8 \% = 6,2 \%$ ), выполнено и защищено последние 2 ( $4 - 2 = 2$ ) лабораторные работы трудоемкостью 5 % (см. [табл. 4](#)) и курсовая работа трудоемкостью 30 % (см. [табл. 4](#)).

Аттестуем некоторого студента Сидорова А. И. и занесем выполненные операции в [табл. 6](#).

### Аттестация 1

1. Студент из планируемых 7 лекций посетил 5. За посещение запланированных 7 лекций студент мог получить максимальное число баллов, равное 100, а за посещение 5 лекций получит  $(5 \cdot 100) / 7 = 71$  балл.

2. Студент выполнил обе запланированные работы и защитил их, но при защите не ответил на несколько вопросов, не проявил творческой инициативы при выполнении и оформлении работы, поэтому получил не 100 баллов, а только 80.

Итоговое количество баллов за аттестацию 1 подсчитывается:  $(71 \cdot 5 + 80 \cdot 10 + 0) / (5 + 10 + 0) = 77$  баллов. Результат округляется до целых баллов.

Таблица 6

Пример оценивания текущей работы студента  
в 100-балльной шкале с расчетом средневзвешенной оценки

№ аттестации	Аттестация 1				Аттестация 2				Итого по текущим аттестациям
Виды учебной работы	Посещение лекций	Лаборат. работы	Курсовая работа	Итоги	Посещение лекций	Лаборат. работы	Курсовая работа	Итоги	
Трудоемкость видов работ в % на момент аттестации	5	10	0	15	5	10	20	35	50
Сидоров А. И.	71	80	0	77	91	100	80	74	75

### Аттестация 2

1. Студент из планируемых 11 лекций посетил 10. Аналогично п.1 аттестации 1 ему начисляются баллы  $(10 \cdot 100) / 11 = 91$  балл.

2. Студент выполнил и защитил обе лабораторные работы в указанные графиком сроки. Он творчески организовал свою работу, проявил инициативу при оформлении отчета, на защите отлично отвечал на поставленные вопросы и получил 100 баллов.

3. Курсовую работу студент сдал на проверку и защитил в срок. При проверке выяснились неточности в расчетах. На защите доклад выглядел вялым, были представлены не всегда информативные презентационные слайды. Курсовую работу студента оценили в 80 баллов.

4. Итоговое количество баллов за аттестацию 2 подсчитывается так:  $(91 \cdot 5 + 100 \cdot 10 + 80 \cdot 20) / (5 + 10 + 20) = 74$  балла.

Так, средневзвешенная оценка по дисциплине студента Сидорова равна (округляем до целых):

по итогам 1-й аттестации:  $(71 \cdot 5 + 80 \cdot 10 + 0) / (5 + 10 + 0) = 77$  баллов;

по итогам 2-й аттестации:  $100 \cdot 10 + 80 \cdot 20 / (5 + 10 + 20) = 74$  балла.

Итого, в рассматриваемом примере за текущую работу в семестре студент Сидоров получил оценку:

$(77 \cdot 15 + 74 \cdot 35) / (15 + 35) = 75$  баллов.

**Примечание:** *Оценки за текущую работу в семестре можно корректировать на протяжении всего семестра до момента утверждения зачетной или экзаменационной ведомости в деканате.*

В СФУ установлено следующее соответствие оценок в 100-балльной шкале традиционным оценкам (табл. 7) [24]:

Таблица 7

Соответствие оценок  
в 100-балльной шкале традиционным оценкам

Оценка в 100-балльной шкале	Оценка в традиционной шкале
84–100	5 (отлично)
67–83	4 (хорошо)
50–66	3 (удовлетворительно)
0–49	2 (неудовлетворительно)

Следовательно, за текущую работу студент Сидоров А. И. получил традиционную оценку «хорошо».



# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Основная литература

1. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : учеб. программа дисциплины / сост. : В. А. Юзова, Г. Н. Шелованова. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – 46 с. – (Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : УМКД № 1524/1092-2008 / рук. творч. коллектива Г. Н. Шелованова).
2. Шелованова, Г. Н. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : курс лекций / Г. Н. Шелованова. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – 222 с. – (Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : УМКД № 1524/1092-2008 / рук. творч. коллектива Г. Н. Шелованова).
3. Юзова, В. А. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : лаб. практикум / В. А. Юзова, Г. Н. Шелованова. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – 124 с. – (Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : УМКД № 1524/1092-2008 / рук. творч. коллектива Г. Н. Шелованова).
4. Юзова, В. А. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : пособие по курсовой работе / В. А. Юзова, Г. Н. Шелованова. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – 132 с. – (Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники : УМКД № 1524/1092-2008 / рук. творч. коллектива Г. Н. Шелованова).

## Дополнительная литература

5. Герасименко, Н. Н. Мир материалов и технологий. Кремний – материал нанoeлектроники / Н. Н. Герасименко, Ю. Н. Пархоменко. – М. : Техносфера, 2006. – 355 с.
6. Шелованова, Г. Н. Современные проблемы электроники: кремниевая Шелованова, Г. Н. Современные проблемы электроники: кремниевая электроника : учеб. пособие. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. – 178 с.
7. Шелованова, Г. Н. Физические основы микроэлектроники. Полупроводниковые гетероструктуры в микро- и нанoeлектронике : учеб. пособие / Г. Н. Шелованова. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 181 с.



8. Байдамов, В. М. Основы электрохимии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Байдамов. – М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 240 с.
9. СТО 4.2-07–2008. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности / разработ. : Т. В. Сильченко, Л. В. Белошапко, В. К. Младенцева, М. И. Губанова. – Введ. впервые 09. 12. 2008. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 47 с.
10. Зимин, С. П. Пористый кремний – материал с новыми свойствами / С. П. Зимин // Соросовский образовательный журнал. – 2004. – Т.8 (№ 1). – С. 101–107.
11. Зимин, С. П. Электрические свойства пористого кремния / С. П. Зимин // ФТП. – 2000. – Т.34 (вып.3). – С. 359–363.
12. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика. Приборы / под ред. В. В. Лучинина, Ю. М. Таирова. – М. : Физматлит, 2006. – 552 с.
13. Барыбин, А. А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы. – М. : Физматлит, 2006. – 387 с.
14. Материаловедение : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 3-е изд., стереотип. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 411 с.
15. Ермаков, О. Н. Мир электроники. Прикладная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков. – М. : Техносфера, 2004. – 372 с.
16. Брандон, Д. Мир материалов и технологий. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан; пер. с англ. под ред. С. Л. Баженова. – М. : Техносфера, 2004. – 384 с.
17. Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение / В. Ю. Долматов. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. – 344 с.
18. Алферов, Ж. И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур / Ж. И. Алферов // Физика и техника полупроводников. – 1998. – Т. 32 (№ 1). – С. 3–18.
19. Пузырь А. П., Бондарь В. С. Патент RU 2252192 С2. МПК С01 В36/06.БИ.15(2005).
20. Пузырь А. П., Бондарь В. С. Патент RU 2258671 С2. МПК С01 В36/06.БИ.23(2005).
21. Юзова, В. А. Введение ультрадисперсного порошка алмаза детонационного синтеза в каналы пористого кремния / В. А. Юзова // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т. 34 (вып.10). – С. 34–38.
22. Готра, З. Ю. Технология микроэлектронных устройств : справ. / З. Ю. Готра. – М. : Радио и связь, 1991. – 528 с.

23. Захаров, А. А. Физико-химические основы размерной обработки полупроводников. Механическая обработка : учеб. пособие / В. А. Юзова, А. А. Захаров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Красноярск : КГТУ, 1997. – 216 с.

24. Положение об организации учебного процесса в Сибирском федеральном университете с использованием зачетных единиц (кредитов) и балльно-рейтинговой системы.

25. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Банк тестовых заданий. Версия 1,0 [Электронный ресурс] : контрольно-измерительные материалы / Г. Н. Шелованова, В. А. Барашков, О. В. Семенова. – Электронные дан. (127 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – (Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники: УМКД № 1524/1092-2008/ рук. творч. коллектива Г. Н. Шелованова). 1 электронный оптический диск (DVD). Систем. требования: Intel Pentium (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц; 512 Мб оперативной памяти; 187 Мб свободного дискового пространства; привод DVD; операционная система Microsoft Windows 2000 SP4/XP SP2 /Vista (32); Adobe Reader 7,0 (или аналогичный продукт для чтения файлов pdf).

26. Унифицированная система компьютерной проверки знаний тестированием UniTest версии 3.0.0. : руководство пользователя / А. Н. Шниперов, Б. М. Бидус. – Красноярск, 2008.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Структура банка тестовых заданий по дисциплине «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники» для направления 210100.68 «Электроника и нанoeлектроника»

1	2	М:1	М:М	С	П	Д	Всего
1. Современные тенденции реализации микро- и наноструктур (14 часов)	Лекция 1. Роль поверхности в создании устройств микро- и нанoeлектроники (2 часа)	7	4	1	2	8	22
	Лекция 2. Микро- и наноразмерные атомные кластеры в полупроводниках и их свойства (2 часа)	10	6	1	1	2	20
	Лекция 3. Технологические возможности перспективных видов эпитаксии (2 часа)	7	7	1	2	4	21
	Лекция 4. Создание интегральных устройств методами литографии (2 часа)	8	5	1	1	5	20
	Лекция 5. Литография высокого разрешения (2 часа)	4	8	1	1	6	20
	Лекция 6. Квантовые основы нанoинженерии (2 часа)	11	3	1	1	5	21
	Лекция 7. Низкоразмерные кремниевые среды (2 часа)	3	2	1	3	7	16

1	2	М:1	М:М	С	П	Д	всего
2. Технологические аспекты создания устройств электроники и нанoeлектроники (22 часа)	Лекция 8. Технология тонких пленок и многослойных структур (2 часа)	6	6	1	1	6	20
	Лекция 9. Квантовая инженерия (2 часа)	8	7	1	2	1	19
	Лекция 10. Многослойные наноструктуры (2 часа)	7	7	1	1	4	20
	Лекция 11. Физическая природа сверхпроводимости (2 часа)	6	3	3	1	9	22
	Лекция 12. Высокотемпературная сверхпроводимость (2 часа)	5	5	1	1	9	21
	Лекция 13. Микроволны и их природа (2 часа)	1	4	2	3	5	15
	Лекция 14. Элементная база микроволновых систем (2 часа)	9	4	1	1	5	20
	Лекция 15. Системы связи (2 часа)	6	6	1	1	7	21
	Лекция 16. Температурная и радиационная стойкость изделий электронной техники (2 часа)	8	3	1	1	7	20
	Лекция 17. Перспективы кремния как материала экстремальной электроники (2 часа)	7	8	1	1	4	21
	Лекция 18. Материалы и структуры экстремальной электроники (2 часа)	7	6	1	1	5	20
	ИТОГО:	120	94	21	25	99	360
	ИТОГО %	33,8	26	5,9	6,7	27,6	100