

**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

Документ подписан электронной подписью  
 Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820  
 Владелец: Троян Павел Ефимович  
 Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Нанoeлектроника**

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**  
 Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**  
 Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника**  
 Форма обучения: **заочная**  
 Факультет: **ЗиВФ, Заочный и вечерний факультет**  
 Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**  
 Курс: **4**  
 Семестр: **7, 8**  
 Учебный план набора 2015 года

**Распределение рабочего времени**

№	Виды учебной деятельности	7 семестр	8 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	4	2	6	часов
2	Практические занятия	2	4	6	часов
3	Лабораторные работы	0	8	8	часов
4	Всего аудиторных занятий	6	14	20	часов
5	Самостоятельная работа	66	54	120	часов
6	Всего (без экзамена)	72	68	140	часов
7	Подготовка и сдача зачета	0	4	4	часов
8	Общая трудоемкость	72	72	144	часов
				4.0	З.Е.

Контрольные работы: 8 семестр - 1  
 Зачет: 8 семестр

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 нанoeлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Разработчик:

Доцент каф. ФЭ \_\_\_\_\_ Ю. В. Сахаров

Заведующий обеспечивающей каф.  
ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ЗИВФ

\_\_\_\_\_ И. В. Осипов

Заведующий выпускающей каф.  
ПрЭ

\_\_\_\_\_ С. Г. Михальченко

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

Профессор кафедры промышленной электроники (ПрЭ)

\_\_\_\_\_ Н. С. Легостаев

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

формирование теоретических и практических основ, необходимых для расчета, разработки и создания элементов, приборов и устройств и нанoeлектроники, 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 нанoeлектроники, изучение структуры и принципов работы приборов и устройств нанoeлектроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

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

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

Последующими дисциплинами являются: Проектирование ключевых устройств.

## 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 нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** современное состояние и тенденции развития нанoeлектроники и измерительной техники; основной физико-математический аппарат, применяемый при решении задач нанoeлектроники; основные физико-математические модели приборов и устройств нанoeлектроники, а также основные программные средства для их моделирования.

– **уметь** проводить поиск научно-технической литературы в области микро- и нанoeлектроники с использованием информационных технологий; проводить измерения основных параметров приборов и устройств нанoeлектроники различного функционального назначения; использовать физико-математический аппарат для решения задач нанoeлектроники; строить простейшие физические и математические модели приборов и устройств нанoeлектроники различного функционального назначения с использованием программных средств моделирования.

– **владеть** методикой анализа научно-технической литературы в области микро- и нанoeлектроники; основными методиками измерения основных параметров приборов и устройств нанoeлектроники различного функционального назначения; методикой расчета основных параметров низкоразмерных структур; основными методиками построения физических и математических моделей приборов и устройств нанoeлектроники 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 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
---------------------------	-------------	----------

		7 семестр	8 семестр
Аудиторные занятия (всего)	20	6	14
Лекции	6	4	2
Практические занятия	6	2	4
Лабораторные работы	8	0	8
Самостоятельная работа (всего)	120	66	54
Подготовка к контрольным работам	30	20	10
Оформление отчетов по лабораторным работам	8	0	8
Подготовка к лабораторным работам	10	0	10
Проработка лекционного материала	16	12	4
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	32	20	12
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	20	10	10
Выполнение контрольных работ	4	4	0
Всего (без экзамена)	140	72	68
Подготовка и сдача зачета	4	0	4
Общая трудоемкость, ч	144	72	72
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	Лек., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
<b>7 семестр</b>						
1 Физические основы нанoeлектроники	2	2	0	38	42	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
2 Способы формирования квантово-размерных наноструктур	2	0	0	28	30	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
Итого за семестр	4	2	0	66	72	
<b>8 семестр</b>						
3 Квантовые эффекты	2	2	2	28	34	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
4 Элементы и приборы нанoeлектроники	0	2	6	26	34	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
Итого за семестр	2	4	8	54	68	
Итого	6	6	8	120	140	

## 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
1 Физические основы нанoeлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые наногетероструктуры. Энергетические диаграммы наногетероструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС). Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт.	2	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Итого	2	
2 Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Общие принципы формирования квантово-размерных структур. Эпитаксия. Формирование квантово-размерных структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Формирование квантово-размерных структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (МОСVD). Формирование квантовых ям. Формирование квантовых проволок (нитей) геометрическим и электронным способом. Формирование квантовых точек. Механизм процесса самоорганизации при формировании квантовых точек. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек.	2	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Итого	2	
Итого за семестр		4	
8 семестр			
3 Квантовые эффекты	2D-электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Эффект Ааронова-Бома. Эффект Штарка. Квантово-размерный эффект Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. Сотуннелирование.	2	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Итого	2	

Итого за семестр		2	
Итого		6	

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

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

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин			
	1	2	3	4
Предшествующие дисциплины				
1 Квантовая и оптическая электроника	+	+	+	+
2 Математика	+	+	+	+
3 Материалы электронной техники	+	+	+	+
4 Микроэлектроника	+			+
5 Твердотельная электроника	+	+	+	+
6 Физика	+	+	+	+
7 Физика конденсированного состояния	+	+	+	+
8 Химия		+		
Последующие дисциплины				
1 Проектирование ключевых устройств	+	+	+	+

### 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
	Лек.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Зачет, Тест
ОПК-7	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Зачет, Тест
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Зачет, 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
<b>8 семестр</b>			
3 Квантовые эффекты	Туннельный эффект	2	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Итого	2	
4 Элементы и приборы нанoeлектроники	Исследование электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктуры с квантовыми ямами	4	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Исследование характеристик транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT)	2	
	Итого	6	
Итого за семестр		8	
Итого		8	

### 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
<b>7 семестр</b>			
1 Физические основы нанoeлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение.	1	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Полупроводниковые наногетероструктуры	1	
	Итого	2	
Итого за семестр		2	
<b>8 семестр</b>			
3 Квантовые эффекты	2D-электронный газ в магнитном поле	1	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Туннельный и резонансно-туннельный эффект.	1	
	Итого	2	
4 Элементы и приборы нанoeлектроники	Светодиоды и лазеры на гетероструктурах. Квантовые каскадные лазеры.	1	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1
	Инфракрасные фотоприемники на основе наногетероструктур	1	
	Итого	2	
Итого за семестр		4	
Итого		6	

## 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
<b>7 семестр</b>				
1 Физические основы нанoeлектроники	Выполнение контрольных работ	2	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	10		
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	10		
	Проработка лекционного материала	6		
	Подготовка к контрольным работам	10		
	Итого	38		
2 Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Выполнение контрольных работ	2	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	10		
	Проработка лекционного материала	6		
	Подготовка к контрольным работам	10		
	Итого	28		
Итого за семестр		66		
<b>8 семестр</b>				
3 Квантовые эффекты	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1	Зачет, Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	6		
	Проработка лекционного материала	4		
	Подготовка к лабораторным работам	4		
	Оформление отчетов по	4		



	лабораторным работам			
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	28		
4 Элементы и приборы наноэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ОПК-2, ОПК-7, ПК-1	Зачет, Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	6		
	Подготовка к лабораторным работам	6		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	26		
Итого за семестр		54		
	Подготовка и сдача зачета	4		Зачет
Итого		124		

#### 10. 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. Борисенко В. Е. Наноэлектроника: учебное пособие для вузов / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 224 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)
2. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/537> (дата обращения: 24.07.2018).

##### 12.2. Дополнительная литература

1. Чаплыгин Ю.А. Нанотехнологии в электронике: Монография / Н. И. Боргардт [и др.] ; ред. Ю. А. Чаплыгин ; Московский государственный институт электронной техники. - М. : Техносфера, 2005. - 446 с. - ISBN 5-94836-059-8 (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.)
2. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М. : Физматкнига ; М. : Логос ; М. : Университетская книга, 2006. - 494 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)

##### 12.3. Учебно-методические пособия

###### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Троян П.Е. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. изд-во Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2016. – 31 с - Режим доступа: [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics\\_Practics.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_Practics.pdf) (дата обращения: 24.07.2018).
2. Троян П.Е. Наноэлектроника [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. – Томск Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и

радиоэлектроники, 2016. – 30 с. - Режим доступа: [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics\\_lab.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_lab.pdf) (дата обращения: 24.07.2018).

### **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. Научно-образовательный портал ТУСУР - <https://edu.tusur.ru/>
2. Электронная библиотека - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
3. Справочник по наноматериалам - <https://nano.nature.com/>

## **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 для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

#### **13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 224 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

#### **13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Лаборатория нанoeлектроники и микросистемной техники

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 115а ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Осциллограф АСК 1021;
- Генератор 3-34;
- Вольтметр В7-21;

- Вольтметр В7-26;
  - Блок питания Б5-47 (2 шт.);
  - Блок питания Б5-10;
  - Микроскоп МБС – 9 (2 шт.);
  - Источник питания НУ 3003 (2 шт.);
  - Источник питания UT5003ED (2 шт.);
  - Измеритель мощности светового потока TES-133;
  - Лабораторные стенды: «Элементы наноэлектроники: оптоэлектронные приборы и устройства», «Элементы наноэлектроники: диоды», «Элементы наноэлектроники: полевые транзисторы»;
  - Источник питания GPS 3030 DD;
  - Комплект специализированной учебной мебели;
  - Рабочее место преподавателя.
- Программное обеспечение не требуется.

#### **13.1.4. 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 комфортного просмотра.

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

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

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

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

#### 14.1.1. Тестовые задания

1. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых точках:
  - а) только по направлению X
  - б) только по направлению Y
  - в) только по направлению Z
  - г) по направлениям XYZ
2. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых пленках:
  - а) по направлениям X и Y
  - б) только по направлению Y
  - в) только по направлению Z
  - г) по направлениям X и Z
3. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых нитях (шнурах):
  - а) по направлениям X и Y
  - б) по направлению Y и Z
  - в) только по направлению Z
  - г) по направлениям X и Z
4. Какое минимальное количество энергетических уровней должно быть в квантовой яме двойной гетероструктуры:
  - а) 0
  - б) 1
  - в) 4
  - г) 9
5. Максимальная толщина квантовой ямы двойной гетероструктуры не должна превышать:
  - а) 100 нм
  - б) длину волны Де Бройля для электрона в квантовой яме
  - в) длину когерентности
  - г) 10 нм
6. Максимальное различие постоянных решеток для материалов входящих в гетероструктуру не должно превышать:
  - а) 1 %
  - б) 0,1 %
  - в) 5 %
  - г) 8 %
7. В какую из сверхрешеток входят полупроводники с одинаковым химическим составом:
  - а) композиционную
  - б) легированную
  - в) модулировано – легированную
  - г) во все перечисленные.
8. Какой из методов эпитаксии, позволяет получать качественную гетерограницу в гетроструктурах:
  - а) молекулярно – лучевая

- б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD)
- в) жидкостная
- г) газовая

9. При каком из типов начальной стадии роста, возникающих при осаждении атомов на подложку из газовой фазы, происходит формирование квантовых точек:

- а) Франка- Ван дер Мерве (слоевой рост)
- б) Странского – Крастанова (промежуточный тип)
- в) Фольмера – Вебера (островковый рост)
- г) При всех перечисленных.

10. Как будет изменяться коэффициент прозрачности барьера  $D$ , при увеличении массы частицы, если ее энергия остается при этом постоянной

- а) уменьшится
- б) увеличится
- в) останется постоянным
- г) может уменьшиться или увеличиться, в зависимости от заряда частицы.

11. В каких плоскостях будут существовать уровни Ландау, если вектор магнитной индукции  $B$  направлен вдоль оси  $Z$ , перпендикулярной плоскости 2D-газа:

- а) в плоскости  $Z$
- б) в плоскостях  $X$  и  $Y$
- в) в плоскостях  $Y$  и  $Z$
- г) в плоскостях  $X$  и  $Z$

12. От чего зависит сопротивление баллистической квантовой проволоки

- а) от сечения
- б) от длины
- в) не зависит от геометрических размеров и равно нулю
- г) от сечения и длины

13. Как изменится длина волны излучения светодиода, изготовленного на основе гетероструктуры с квантовыми ямами, при уменьшении их толщины:

- а) уменьшится
- б) увеличится
- в) останется постоянной
- г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от материалов гетероструктуры.

14. Практическое применение целочисленного эффекта Холла

- а) эталон силы тока
- б) эталон сопротивления
- в) эталон напряжения
- г) эталон заряда

15. Как изменится поверхностная плотность квантовых точек при увеличении температуры подложки в процессе осаждения

- а) увеличится
- б) уменьшится
- в) останется постоянной
- г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от осаждаемых материалов.

16. Какой квантовый эффект лежит в основе работы оптических модуляторов

- а) эффект Штарка
- б) эффект Джозефсона
- в) эффект Холла
- г) эффект Зеемана

17. Какой квантовый эффект лежит в основе работы сверхпроводящего квантового интерференционного датчика (СКВИД)

- а) эффект Штарка
- б) эффект Джозефсона
- в) эффект Холла
- г) эффект Ааронова – Бома

18. Чем можно объяснить существование целочисленного эффект Холла

- а) квантовым ограничением
- б) уровнями Ландау
- в) туннельным эффектом
- г) размерными уровнями

19. От чего зависит число уровней в минizonaх сверхрешетки

- а) от толщины квантовых ям
- б) от числа квантовых ям
- в) от толщины барьеров
- г) является постоянной величиной

20. Какой из методов эпитаксии может быть использован при изготовлении транзисторов с высокой подвижностью НЕМТ

- а) молекулярно – лучевая
- б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD)
- в) жидкостная
- г) газовая

#### 14.1.2. Темы контрольных работ

Тема контрольной работы № 2: Квантовые эффекты. Устройства наноэлектроники (Разделы 4-5 рабочей программы). Пример Контрольного задания:

Вариант №1

1. Найти вероятность прохождения  $D$  и отражения  $R$  для электрона с энергией 2,3 эВ, падающего на потенциальную стенку высотой 2,0 эВ. Эффективную массу принять равной массе электрона в состоянии покоя.

2. Найти вероятность прохождения  $D$  и отражения  $R$  для электрона с энергией 3 эВ, проходящего через барьер высотой 3,3эВ и протяженностью 4 нм. Эффективную массу принять равной массе электрона в состоянии покоя.

3. Определить длину волны, при которой будет максимум оптического поглощения для сверхрешетки на основе AlAs/GaAs/AlAs. Если толщина квантовых ям составляет 5 нм, барьеров 15 нм.

4. Определить максимальную емкость для туннельного перехода при которой возможен эффект одноэлектронного туннелирования для  $T=300$  К и  $T=1$  К

Примеры задач для контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п. 2.5 - п.2.12). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п. 3). Учебно-методическое пособие содержат варианты заданий для контрольных работ и индивидуальных заданий. Для самостоятельного изучения рекомендуется список литературы и приводятся справочные материалы.

Тема контрольной работы № 1: Физические основы наноэлектроники (Раздел 1 рабочей программы). Пример Контрольного задания:

Вариант №1

1. Определить длину волны Де Бройля для электрона с энергией 2 эВ.
2. Протон обладает кинетической энергией  $T = 1$  кэВ. Определить дополнительную энергию  $\delta T$ , которую необходимо ему сообщить для того, чтобы длина волн  $\lambda$  де Бройля уменьшилась в три раза.
3. Имеется ДГС на основе AlAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As/AlAs. Толщина квантовой ямы составляет 4,5 нм. Определить максимальный  $x$  при котором в квантовой яме будет один энергетический уровень. Справочные данные для материалов взять из справочника. Эффективные массы считать постоянными и приравнять к средним значениям
4. Имеется ДГС на основе AlAs/InAs/AlAs. Определить минимальную и максимальную толщину квантовой ямы. Справочные данные для материалов взять из справочника.

Примеры задач для контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п. 2.1-2.4). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.3). Учебно-методическое пособие содержат варианты заданий для контрольных работ и индивидуальных заданий. Для самостоятельного изучения рекомендуется список литературы и приводятся справочные материалы.

### 14.1.3. Зачёт

1. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых точках:
  - а) только по направлению X
  - б) только по направлению Y
  - в) только по направлению Z
  - г) по направлениям XYZ
2. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых пленках:
  - а) по направлениям X и Y
  - б) только по направлению Y
  - в) только по направлению Z
  - г) по направлениям X и Z
3. По каким направлениям ограничено движение заряженных частиц в квантовых нитях (шнурах):
  - а) по направлениям X и Y
  - б) по направлению Y и Z
  - в) только по направлению Z
  - г) по направлениям X и Z
4. Какое минимальное количество энергетических уровней должно быть в квантовой яме двойной гетероструктуры:
  - а) 0
  - б) 1
  - в) 4
  - г) 9
5. Максимальная толщина квантовой ямы двойной гетероструктуры не должна превышать:
  - а) 100 нм
  - б) длину волны Де Бройля для электрона в квантовой яме
  - в) длину когерентности
  - г) 10 нм
6. Максимальное различие постоянных решеток для материалов входящих в гетероструктуру не должно превышать:
  - а) 1 %
  - б) 0,1 %
  - в) 5 %
  - г) 8 %

7. В какую из сверхрешеток входят полупроводники с одинаковым химическим составом:
- а) композиционную
  - б) легированную
  - в) модулировано –легированную
  - г) во все перечисленные.
8. Какой из методов эпитаксии, позволяет получать качественную гетерограницу в гетроструктурах:
- а) молекулярно – лучевая
  - б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD)
  - в) жидкостная
  - г) газовая
9. При каком из типов начальной стадии роста, возникающих при осаждении атомов на подложку из газовой фазы, происходит формирование квантовых точек:
- а) Франка- Ван дер Мерве (слоевой рост)
  - б) Странского – Крастанова (промежуточный тип)
  - в) Фольмера – Вебера (островковый рост)
  - г) При всех перечисленных.
10. Как будет изменяться коэффициент прозрачности барьера  $D$ , при увеличении массы частицы, если ее энергия остается при этом постоянной
- а) уменьшится
  - б) увеличится
  - в) останется постоянным
  - г) может уменьшиться или увеличиться, в зависимости от заряда частицы.
11. В каких плоскостях будут существовать уровни Ландау, если вектор магнитной индукции  $B$  направлен вдоль оси  $Z$ , перпендикулярной плоскости 2D-газа:
- а) в плоскости  $Z$
  - б) в плоскостях  $X$  и  $Y$
  - в) в плоскостях  $Y$  и  $Z$
  - г) в плоскостях  $X$  и  $Z$
12. От чего зависит сопротивление баллистической квантовой проволоки
- а) от сечения
  - б) от длины
  - в) не зависит от геометрических размеров и равно нулю
  - г) от сечения и длины
13. Как измениться длина волны излучения светодиода, изготовленного на основе гетероструктуры с квантовыми ямами, при уменьшении их толщины:
- а) уменьшится
  - б) увеличится
  - в) останется постоянной
  - г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от материалов гетероструктуры.
14. Практическое применение целочисленного эффекта Холла
- а) эталон силы тока
  - б) эталон сопротивления
  - в) эталон напряжения



г) эталон заряда

15. Как изменится поверхностная плотность квантовых точек при увеличении температуры подложки в процессе осаждения

- а) увеличится
- б) уменьшится
- в) останется постоянной
- г) может уменьшиться или увеличиться в зависимости от осаждаемых материалов.

16. Какой квантовый эффект лежит в основе работы оптических модуляторов

- а) эффект Штарка
- б) эффект Джозефсона
- в) эффект Холла
- г) эффект Зеемана

17. Какой квантовый эффект лежит в основе работы сверхпроводящего квантового интерференционного датчика (СКВИД)

- а) эффект Штарка
- б) эффект Джозефсона
- в) эффект Холла
- г) эффект Ааронова – Бома

18. Чем можно объяснить существование целочисленного эффект Холла

- а) квантовым ограничением
- б) уровнями Ландау
- в) туннельным эффектом
- г) размерными уровнями

19. От чего зависит число уровней в минizonaх сверхрешетки

- а) от толщины квантовых ям
- б) от числа квантовых ям
- в) от толщины барьеров
- г) является постоянной величиной

20. Какой из методов эпитаксии может быть использован при изготовлении транзисторов с высокой подвижностью НЕМТ

- а) молекулярно – лучевая
- б) химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD)
- в) жидкостная
- г) газовая

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

Исследование электрических и оптических характеристик светодиодов на основе гетероструктуры с квантовыми ямами

Исследование характеристик транзистора с высокой подвижностью электронов (НЕМТ)  
Туннельный эффект

#### **14.1.5. Методические рекомендации**

Для допуска к зачету должны быть выполнены все лабораторные и контрольные работы предусмотренные планом.

#### **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;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

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

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

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

**Для лиц с нарушениями зрения:**

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

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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