МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Полупроводниковые наногетероструктуры

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**
Направленность (профиль): **Технология электронных средств**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РКФ, Радиоконструкторский факультет**
Кафедра: **РЭТЭМ, Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга**
Курс: **3**
Семестр: **5**
Учебный план набора **2015** года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	5 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	36	36	часов
2	Практические занятия	36	36	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	88	88	часов
5	Из них в интерактивной форме	16	16	часов
6	Самостоятельная работа	128	128	часов
7	Всего (без экзамена)	216	216	часов
8	Общая трудоемкость	216	216	часов
		6.0	6.0	З.Е

Дифференцированный зачет: **5 семестр**

Томск 2017

Согласована на портале № 19493

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 77 от «11» 1 2017 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, утвержденного 12 ноября 2015 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

Доцент каф. ФЭ _____ Ю. В. Сахаров

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки (специальности).

Декан РКФ _____ Д. В. Озеркин

Заведующий выпускающей каф. РЭТЭМ _____ В. И. Туев

Эксперты:

Доцент ТУСУР _____ В. С. Солдаткин

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ ТУСУР _____ И. А. Чистоедова

Согласована на портале № 19493

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

– формирование научной основы, необходимой для создания элементов, приборов и устройств на основе наногетероструктур

1.2. Задачи дисциплины

– изучение законов физики наноразмерных полупроводниковых гетероструктур для последующего использования их при разработке и эксплуатации приборов и устройств микроволновой, цифровой и оптической электроники, а также при проектировании электронных схем на их основе

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Полупроводниковые наногетероструктуры» относится к дисциплинам по выбору вариативной части блока 1 (**Б1.В.ДВ.2.1**).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Физика, Физико-химические основы технологии электронных средств, Физическая химия, Физические основы микро- и наноэлектроники.

Последующими дисциплинами являются: Полупроводниковая светотехника, Светодиоды и светотехнические устройства, Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий.

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;

В результате изучения дисциплины студент должен:

– **знать** физико-математический аппарат для расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;

– **уметь** проводить физико-математический расчет приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;

– **владеть** методикой расчета и определения основных параметров приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		5 семестр
Аудиторные занятия (всего)	88	88
Лекции	36	36
Практические занятия	36	36
Лабораторные работы	16	16
Из них в интерактивной форме	16	16
Самостоятельная работа (всего)	128	128
Оформление отчетов по лабораторным работам	24	24
Проработка лекционного материала	40	40
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	64	64
Всего (без экзамена)	216	216
Общая трудоемкость ч	216	216

Согласована на портале № 19493

Зачетные Единицы	6.0	6.0

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	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
5 семестр						
1 Введение	4	0	0	8	12	ОПК-2
2 Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	8	10	0	24	42	ОПК-2
3 Способы формирования квантово-размерных полупроводниковых наноструктур	8	8	0	24	40	ОПК-2
4 Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	6	8	4	30	48	ОПК-2
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур	10	10	12	42	74	ОПК-2
Итого за семестр	36	36	16	128	216	
Итого	36	36	16	128	216	

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
5 семестр			
1 Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития наноэлектроники и нанотехнологии. Связь с другими дисциплинами. Цели и задачи курса.	4	ОПК-2
	Итого	4	
2 Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые	8	ОПК-2

Согласована на портале № 19493

	наногетероструктуры. Энергетические диаграммы наногетероструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС). Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в полупроводниковых сверхрешетках. Свойства электронного газа в полупроводниковых сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт.		
	Итого	8	
3 Способы формирования квантово-размерных полупроводниковых наноструктур	Общие принципы формирования полупроводниковых квантово-размерных структур. Эпитаксия. Формирование квантово-размерных полупроводниковых структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Формирование квантово-размерных полупроводниковых структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). 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.	8	ОПК-2
	Итого	8	
4 Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	2D-электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. 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.	6	ОПК-2
	Итого	6	
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных	Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на	10	ОПК-2

Согласована на портале № 19493

полупроводниковых гетероструктур	резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Устройства на основе сверхрешеток. Светодиоды и лазеры на основе полупроводниковых гетероструктур и квантовых точек. Инфракрасные фотоприемники на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур. Оптические модуляторы на основе полупроводниковых гетероструктур. Квантовые каскадные лазеры на основе низкоразмерных полупроводниковых сверхрешеток. Лавинные фотодиоды на основе полупроводниковых гетероструктур . Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT на основе полупроводниковых гетероструктур. SiGe-транзисторы. Мощные GaN- и SiC-транзисторы. Транзисторы на антимонидах и арсенидах индия. Транзисторы на углеродных нанотрубках. Алмаз как материал для СВЧ-приборов.		
	Итого	10	
Итого за семестр		36	

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

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

Таблица 5.3 - Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин				
	1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины					
1 Физика		+		+	
2 Физико-химические основы технологии электронных средств			+		
3 Физическая химия			+		
4 Физические основы микро- и наноэлектроники		+			+
Последующие дисциплины					
1 Полупроводниковая светотехника				+	+

Согласована на портале № 19493

2 Светодиоды и светотехнические устройства			+		+
3 Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий					+

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 и видов занятий, формируемых при изучении дисциплины

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	
ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Дифференцированный зачет

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах приведены в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы	Интерактивные практические занятия	Интерактивные лекции	Всего
5 семестр			
Презентации с использованием слайдов с обсуждением		4	4
Выступление студента в роли обучающего		2	2
Приглашение специалистов		2	2
Работа в команде	4		4
Исследовательский метод	2		2
Case-study (метод конкретных ситуаций)	2		2
Итого за семестр:	8	8	16
Итого	8	8	16

Согласована на портале № 19493

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость,	Формируемые компетенции
5 семестр			
4 Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	Исследование характеристик туннельного диода	4	ОПК-2
	Итого	4	
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур	Исследование характеристик HEMT транзистора	4	ОПК-2
	Исследование светодиодов на основе ДГС	4	
	Моделирование характеристик HEMT - транзистора	4	
	Итого	12	
Итого за семестр		16	

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
5 семестр			
2 Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Полупроводниковые наногетероструктуры. Энергетические диаграммы наногетероструктур. Двойные гетероструктуры (ДГС). Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в полупроводниковых сверхрешетках. Свойства электронного газа в полупроводниковых сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт.	10	ОПК-2

Согласована на портале № 19493

	Итого	10	
3 Способы формирования квантово-размерных полупроводниковых наноструктур	Эпитаксия. Расчет эпитаксии. Формирование квантово-размерных полупроводниковых структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Формирование квантово-размерных полупроводниковых структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). Формирование квантовых ям. Формирование квантовых проволок (нитей) геометрическим и электронным способом. Формирование квантовых точек. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек.	8	ОПК-2
	Итого	8	
4 Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	2 D-электронный газ в магнитном поле. Расчет величин квантующего поля. Уровни Ландау. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. 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.	8	ОПК-2
	Итого	8	
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур	Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Устройства на основе сверхрешеток. Светодиоды и лазеры на основе полупроводниковых гетероструктур и квантовых точек. Инфракрасные фотоприемники на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур. Оптические модуляторы на основе полупроводниковых гетероструктур. Квантовые каскадные лазеры на основе низкоразмерных полупроводниковых сверхрешетокр. Лавинные фотодиоды на основе полупроводниковых гетероструктур . Оптические	10	ОПК-2

Согласована на портале № 19493

	модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT на основе полупроводниковых гетероструктур. SiGe-транзисторы. Мощные GaN- и SiC-транзисторы. Транзисторы на антимонидах и арсенидах индия. Транзисторы на углеродных нанотрубках. Алмаз как материал для СВЧ-приборов.		
	Итого	10	
Итого за семестр		36	

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
5 семестр				
1 Введение	Проработка лекционного материала	8	ОПК-2	Дифференцированный зачет
	Итого	8		
2 Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	16	ОПК-2	Дифференцированный зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию
	Проработка лекционного материала	8		
	Итого	24		
3 Способы формирования квантово-размерных полупроводниковых наноструктур	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	16	ОПК-2	Дифференцированный зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию
	Проработка лекционного материала	8		
	Итого	24		
4 Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	16	ОПК-2	Дифференцированный зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	8		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	6		
	Итого	30		
5 Приборы и устройства	Подготовка к	16	ОПК-2	Дифференцированный

Согласована на портале № 19493

на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур	практическим занятиям, семинарам			зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе
	Проработка лекционного материала	8		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	6		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	6		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	6		
	Итого	42		
Итого за семестр		128		
Итого		128		

10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
5 семестр				
Контрольная работа	10	15	15	40
Отчет по индивидуальному заданию	5	15	20	40
Отчет по лабораторной работе		10	10	20
Итого максимум за период	15	40	45	100
Нарастающим итогом	15	55	100	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11. 2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Согласована на портале № 19493

Таблица 11. 3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

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. - ISBN 978-5-94774-914-4 (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)

2. Наноэлектроника: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/537 , дата обращения: 08.05.2017.

3. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: Учебное пособие / Смирнов С. В. - 2010. 115 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/535 , дата обращения: 08.05.2017.

4. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - 2011. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0341-0. Т. 2 : Технологические аспекты / М. В. Акуленок, В. М. Андреев, Д. Г. Громов. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 252 с. : ил. -). - Библиогр.: с. 245-248. - ISBN 978-5-9963-0336-6 (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)

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. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике: Коллективная монография / Российская Академия наук, Сибирское отделение, Институт физики полупроводников; ред. А.Л. Асеев. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. – 367 (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

3. Электроника: Учебное пособие для вузов / А.А. Щука; ред. А.С. Сигов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006 (наличие в библиотеке ТУСУР - 3 экз.)

12.3 Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Троян П.Е. Наноэлектроника: 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, 2015. – 31 с – [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_Practics.pdf

2. Троян П.Е. Наноэлектроника: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. – 52 с. – [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-

Согласована на портале № 19493

metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_lab.pdf

3. Исследование параметров и характеристик светодиодов: Руководство к лабораторной работе для студентов специальности 211000 "Конструирование и технология электронных средств" / Кузебных Н. И., Несмелова Н. Н. - 2014. 21 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/3891 , дата обращения: 08.05.2017.

12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа 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. Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы и требуемое программное обеспечение

1. Нано Дайджест" - интернет-журнал, посвященный нанотехнология http://nanodigest.ru/stati/issledovaniia-i-razrabotki/nanoelektronika-dostizheniia-i-perspektivy

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

13.1. Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий

В связи с большим количеством графического материала и рисунков по данной дисциплине лекционные занятия следует проводить с применением проектора и компьютера и обеспечивать слушателей раздаточным материалом. Практические занятия следует проводить в компьютерном классе с использованием математического пакета. Лабораторные работы проводятся по традиционной методике в специализированной лабораторной аудитории каф. ФЭ. Допуск к выполнению лабораторных работ студент получает после получения соответствующего инструктажа по технике безопасности.

13.1.2. Материально-техническое обеспечение для практических занятий

Для проведения практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 25, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью.

13.1.3. Материально-техническое обеспечение для лабораторных работ

Для проведения лабораторных занятий используется учебно-исследовательская вычислительная лаборатория, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 1 этаж, ауд. 115А. Состав оборудования: Учебная мебель и лабораторная мебель (лабораторные столы); 4 специализированных лабораторных стенда для проведения лабораторных работ по курсу "Наноэлектроника

13.1.4. Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория (компьютерный класс), расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 1 этаж, ауд. 124. Состав оборудования: учебная мебель; компьютеры класса ПЭВМ INTEL Core i5 3.2 ГГц. - 12 шт.; компьютеры подключены к сети ИНТЕРНЕТ и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета

Согласована на портале № 19493

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

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов **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 удаленного просмотра.

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

14. Фонд оценочных средств

14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении к рабочей программе.

Конспектирование студентами лекционного материала обязательно. Обязательным условием допуска к экзамену является выполнение и защита всех лабораторных работ, а также контрольных работ.

14.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице.

Таблица 14 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	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 средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

Согласована на портале № 19493

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

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов 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 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 обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 19493

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Полупроводниковые наногетероструктуры

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**
Направленность (профиль): **Технология электронных средств**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РКФ, Радиоконструкторский факультет**
Кафедра: **РЭТЭМ, Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга**
Курс: **3**
Семестр: **5**

Учебный план набора **2015** года

Разработчик:
- Доцент каф. ФЭ Ю. В. Сахаров

Дифференцированный зачет: **5 семестр**

Томск 2017

Согласована на портале № 19493

1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины (практики) и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенций
ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Должен **знать** физико-математический аппарат для расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;; Должен **уметь** проводить физико-математический расчет приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;; Должен **владеть** методикой расчета и определения основных параметров приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники ;

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций на всех этапах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями	Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач	Работает при прямом наблюдении

2 Реализация компетенций

2.1 Компетенция ОПК-2

ОПК-2: способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания

Согласована на портале № 19493

представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	физико-математический аппарат для расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники	проводить физико-математический расчет приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники	методикой расчета и опредеелния основных параметров приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные работы; • Лекции; • Самостоятельная работа;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные работы; • Лекции; • Самостоятельная работа;	• Интерактивные практические занятия; • Лабораторные работы; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по индивидуальному заданию; • Отчет по лабораторной работе; • Дифференцированный зачет;	• Контрольная работа; • Отчет по индивидуальному заданию; • Отчет по лабораторной работе; • Дифференцированный зачет;	• Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Дифференцированный зачет;

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• вывод основных расчетных формул, используемых для расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;	• проводить вывод основных формул применяемых для расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;	• физико-математическим аппаратом для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности;
Хорошо (базовый уровень)	• основные расчетные формулы, используемые для расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;	• решать типовые задачи для расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;	• методикой расчета типовых приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• основные параметры приборов и устройств наноэлектроники, а также перечень справочной и	• решать простые задачи, используя справочную и методическую литературу с	• Владеет методикой расчета параметров гетероструктур, а также методикой поиска справочной и

Согласована на портале № 19493

	методической литературы с примерами расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;	примерами расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;	методической литературы с примерами расчета приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники;

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в следующем составе.

3.1 Темы индивидуальных заданий

– Выполнение домашних индивидуальных заданий на тему: «Расчет устройств наноэлектроники». Полный список вариантов, а также текст заданий приведен в учебно-методическом пособии (п.5)

– Задания по вариантам:

1. **Вариант № 1**. Светодиоды белого света. 2. **Вариант №2.** Светодиоды инфракрасного спектра. 3. **Вариант №3** Светодиоды синего спектра. 4. **Вариант №4** Светодиоды ультрафиолетового спектра. 5. **Вариант №5** Светодиоды желтого спектра. 6. **Вариант №6** Светодиоды зеленого спектра. 7. **Вариант №7** Светодиоды оранжевого спектра. 8. **Вариант №8** Светодиоды фиолетового спектра. 9. **Вариант №9** Светодиоды красного спектра. 10. **Вариант №10** ИК – фотоприемники на многослойных гетероструктурах

3.2 Темы контрольных работ

– **Тема контрольной работы № 1:** Физические основы наноэлектроники (Раздел 2 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 δT, которую необходимо ему сообщить для того, чтобы длина волн λ де Бройля уменьшилась в три раза.

– 3. Имеется ДГС на основе AlAs/AlxGa1-xAs/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.

– **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

Согласована на портале № 19493

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 K и T=1 K

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.

3.3 Вопросы дифференцированного зачета

– **1.** Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. **2.** Полупроводниковые наногетеростуктуры. Энергетические диаграммы наногетроструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС**). 3.** Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в полупроводниковых сверхрешетках. **4.** Свойства электронного газа в полупроводниковых сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. **5.** Баллистический транспорт. **6.** Общие принципы формирования полупроводниковых квантово-размерных структур. Эпитаксия. **7.** Формирование квантово-размерных полупроводниковых структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). **8.** Формирование квантово-размерных полупроводниковых структур методом химического осаждения из газовой фазы металлоорганических соединений (MOCVD). **9.** Формирование квантовых ям. Формирование квантовых проволок (нитей) геометрическим и электронным способом. **10.** Формирование квантовых точек. Механизм процесса самоорганизации при формировании квантовых точек. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек. **11.** 2 D-электронный газ в магнитном поле. **12.** Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. **13.** Эффект Штарка. Квантово-размерный эффект Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами. **14.** Туннельный эффект**. 15.** Эффект Джозефсона. **16.** Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. **17.** Сотуннелирование**. 18.** Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. **19.** Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. **20.** Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. **21.** Устройства на основе сверхрешеток**. 22.** Светодиоды и лазеры на основе полупроводниковых гетероструктур и квантовых точек**. 23.** Инфракрасные фотоприемники на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур. **24.** Оптические модуляторы на основе полупроводниковых гетероструктур. **25.** Квантовые каскадные лазеры на основе низкоразмерных полупроводниковых сверхрешеток. **26.** Лавинные фотодиоды на основе полупроводниковых гетероструктур **. 27.** Оптические модуляторы**. 28.** Транзисторы с высокой подвижностью HEMT на основе полупроводниковых гетероструктур. **29.** Конструкции pHEMT транзисторов. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики. Применение. **30.** Конструкции mHEMT транзисторов. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики. **31.** Применение. SiGe-транзисторы. **32.** Мощные GaN- и SiC-транзисторы. 33. Транзисторы на антимонидах и арсенидах индия. **34.** Транзисторы на углеродных нанотрубках. **35.** Алмаз как материал для СВЧ-приборов.

3.4 Темы лабораторных работ

- Исследование характеристик туннельного диода
- Исследование характеристик HEMT транзистора
- Исследование светодиодов на основе ДГС
- Моделирование характеристик HEMT - транзистора

4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие

Согласована на портале № 19493

материалы:

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, согласно п. 12 рабочей программы.

4.1. 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. - ISBN 978-5-94774-914-4 (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)

2. Наноэлектроника: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/537 , свободный.

3. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: Учебное пособие / Смирнов С. В. - 2010. 115 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/535 , свободный.

4. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - 2011. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0341-0. Т. 2 : Технологические аспекты / М. В. Акуленок, В. М. Андреев, Д. Г. Громов. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 252 с. : ил. -). - Библиогр.: с. 245-248. - ISBN 978-5-9963-0336-6 (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)

4.2. 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. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике: Коллективная монография / Российская Академия наук, Сибирское отделение, Институт физики полупроводников; ред. А.Л. Асеев. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. – 367 (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

3. Электроника: Учебное пособие для вузов / А.А. Щука; ред. А.С. Сигов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006 (наличие в библиотеке ТУСУР - 3 экз.)

4.3. Обязательные учебно-методические пособия

1. Троян П.Е. Наноэлектроника: 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, 2015. – 31 с – [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_Practics.pdf

2. Троян П.Е. Наноэлектроника: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. – 52 с. – [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_lab.pdf

3. Исследование параметров и характеристик светодиодов: Руководство к лабораторной работе для студентов специальности 211000 "Конструирование и технология электронных средств" / Кузебных Н. И., Несмелова Н. Н. - 2014. 21 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://edu.tusur.ru/publications/3891 , свободный.

4.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы

1. Нано Дайджест" - интернет-журнал, посвященный нанотехнология http://nanodigest.ru/stati/issledovaniia-i-razrabotki/nanoelektronika-dostizheniia-i-perspektivy

Согласована на портале № 19493