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: **4**
Семестр: **7**
Учебный план набора 2013 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	7 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	часов
2	Практические занятия	36	36	часов
3	Лабораторные занятия	8	8	часов
4	Всего аудиторных занятий	62	62	часов
5	Самостоятельная работа	82	82	часов
6	Всего (без экзамена)	144	144	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
8	Общая трудоемкость	180	180	часов
		5.0	5.0	З.Е

Экзамен: 7 семестр

Томск 2016

Согласована на портале № 6220

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 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 2015-11-12 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

Доцент каф. ФЭ _____ Сахаров Ю. В.

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ _____ Троян П. Е.

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

Декан РКФ _____ Озеркин Д. В.

Заведующий выпускающей каф. РЭТЭМ _____ Туев В. И.

Эксперты:

Доцент ТУСУР _____ Солдаткин В. С.

Согласована на портале № 6220

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» (Б1.В.ДВ.9.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Материалы и компоненты электронных средств, Светодиоды и светотехнические устройства, Физика, Физика полупроводниковых структур, Физическая химия, Физические основы микро- и наноэлектроники.

Последующими дисциплинами являются: Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ОПК-7 способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

В результате изучения дисциплины студент должен:

– **знать** физические основы и современное состояние и тенденции развития наногетероструктурной электроники; физические принципы измерений и современную измерительную технику в области наногетероструктурной электроники.

– **уметь** проводить анализ научно-технической литературы в области наногетероструктурной электроники; проводить измерения параметров приборов и устройств на основе наногетероструктур.

– **владеть** физическими принципами работы приборов и устройств наногетероструктурной электроники; методикой проведения измерений параметров приборов и устройств наногетероструктурной электроники.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		7 семестр
Аудиторные занятия (всего)	62	62
Лекции	18	18
Практические занятия	36	36
Лабораторные занятия	8	8
Самостоятельная работа (всего)	82	82
Оформление отчетов по лабораторным работам	8	8
Проработка лекционного материала	26	26
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	48	48

Согласована на портале № 6220

Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость час	180	180
Зачетные Единицы Трудоемкости	5.0	5.0

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
1	Введение	2	0	0	4	6	ОПК-7
2	Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	4	12	0	18	34	ОПК-7
3	Способы формирования квантово-размерных полупроводниковых наноструктур	4	6	0	16	26	ОПК-7
4	Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	4	6	0	18	28	ОПК-7
5	Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетерострур	4	12	8	26	50	ОПК-7
	Итого	18	36	8	82	144	

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 Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития наноэлектроники и нанотехнологии. Связь с другими дисциплинами. Задачи курса.	2	ОПК-7
	Итого	2	

Согласована на портале № 6220

2 Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые наногетеростуктуры. Энергетические диаграммы наногетроструктур. 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.	4	ОПК-7
	Итого	4	
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.	4	ОПК-7
	Итого	4	
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	4	ОПК-7

Согласована на портале № 6220

	переходами. Сотуннелирование.		
	Итого	4	
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур	Приборы на резонансном туннелировании. 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 модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT на основе полупроводниковых гетероструктур.	4	ОПК-7
	Итого	4	
Итого за семестр		18	

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 представ-лены 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	Материалы и компоненты электронных средств		+			
2	Светодиоды и светотехнические устройства		+			+
3	Физика		+		+	
4	Физика полупроводниковых структур		+	+	+	
5	Физическая химия			+		
6	Физические основы микро- и наноэлектроники		+	+	+	+

Согласована на портале № 6220

Последующие дисциплины						
1	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 занятия	Самостоятельная работа	
ОПК-7	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП

7. Лабораторный практикум

Содержание лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Содержание лабораторных работ

Названия разделов	Содержание лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур	Исследование светодиодов на основе полупроводниковых гетероструктур	4	ОПК-7
	Транзисторы с высокой подвижностью HEMT на основе полупроводниковых гетероструктур	4	
	Итого	8	
Итого за семестр		8	

8. Практические занятия

Содержание практических работ приведено в таблице 8.1.

Согласована на портале № 6220

Таблица 8. 1 – Содержание практических работ

Названия разделов	Содержание практических занятий	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
2 Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Полупроводниковые наногетеростуктуры. Энергетические диаграммы наногетроструктур. 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.	12	ОПК-7
	Итого	12	
3 Способы формирования квантово-размерных полупроводниковых наноструктур	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. Размер и форма островков. Вертикальные массивы квантовых точек.	6	ОПК-7
	Итого	6	
4 Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	2 D-электронный газ в магнитном поле. 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	6	ОПК-7

Согласована на портале № 6220

	переходами.		
	Итого	6	
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур	Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Одноэлектронный транзистор. 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 модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT на основе полупроводниковых гетероструктур.	12	ОПК-7
	Итого	12	
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
7 семестр				
1 Введение	Проработка лекционного материала	4	ОПК-7	Экзамен
	Итого	4		
2 Физические основы гетероструктурной электроники и наноэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ОПК-7	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен
	Проработка лекционного материала	6		
	Итого	18		
3 Способы формирования квантово-размерных	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ОПК-7	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному

Согласована на портале № 6220

полупроводниковых наноструктур	Проработка лекционного материала	4		заданию, Экзамен
	Итого	16		
4 Квантовые эффекты в низкоразмерных полупроводниковых гетероструктурах	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ОПК-7	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен
	Проработка лекционного материала	6		
	Итого	18		
5 Приборы и устройства на основе низкоразмерных полупроводниковых гетеростру р	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	ОПК-7	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Экзамен
	Проработка лекционного материала	6		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	26		
Итого за семестр		82		
	Подготовка к экзамену	36		Экзамен
Итого		118		

10. Курсовая работа

Не предусмотрено РУП

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Бальные 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
7 семестр				
Контрольная работа	5	15	15	35
Отчет по индивидуальному заданию	5	10	10	25
Отчет по лабораторной работе		5	5	10
Итого максимум за период	10	30	30	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	10	40	70	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

Согласована на портале № 6220

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.

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. Троян П.Е. Наноэлектроника: учебное пособие / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. - Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственная корпорация "Российская корпорация нанотехнологий", Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2010 (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)

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.

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 [1] (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-методическое пособие и программное обеспечение

1. Троян П.Е. Наноэлектроника: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. изд-во Томский

Согласована на портале № 6220

государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. – 31 с – [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=238

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/index.php?option=com_content&view=article&id=238

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.

12.4. 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

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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.

14. Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств приведен в приложении 1.

15. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

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

Согласована на портале № 6220

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: **4**
Семестр: **7**

Учебный план набора 2013 года

Разработчики:

- Доцент каф. ФЭ Сахаров Ю. В.

Экзамен: 7 семестр

Томск 2016

Согласована на портале № 6220

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-7	способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности	Должен знать физические основы и современное состояние и тенденции развития наногетероструктурной электроники; физические принципы измерений и современную измерительную технику в области наногетероструктурной электроники. ; Должен уметь проводить анализ научно-технической литературы в области наногетероструктурной электроники; проводить измерения параметров приборов и устройств на основе наногетероструктур.; Должен владеть физическими принципами работы приборов и устройств наногетероструктурной электроники; методикой проведения измерений параметров приборов и устройств наногетероструктурной 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	Работает при прямом наблюдении

Согласована на портале № 6220

		задач	

2 Реализация компетенций

2.1 Компетенция ОПК-7

ОПК-7: способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	физические соновы и современное состояние и тенденции развития наногетероструктурной электроники; физические принципы измерений и современную измерительную технику в области наногетероструктурной электроники.	проводить анализ научно-технической литературы в области наногетероструктурной электроники; проводить измерения параметров приборов и устройств на основе наногетероструктур.	физическими принципами работы приборов и устройств наногетероструктурной электроники; методикой проведения измерений параметров приборов и устройств наногетероструктурной электроники.
Виды занятий	• Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Экзамен;	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Экзамен;	• Отчет по лабораторной работе; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Экзамен;

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)	• современное состояние и тенденции развития нано- и гетероструктурной электроники,и измерительной техники,	• проводить анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы в области наноэлектроники.	• практическими навыками работы на современном измерительной оборудовании, используемом для

Согласована на портале № 6220

	используемой для определения параметров приборов и устройств нано- и и гетроструктурной электроники. Диапазон и физический смысл измеряемых параметров;	Проводить измерения параметров приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники.;	определения параметров приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники.;
Хорошо (базовый уровень)	• современное состояние нано- и гетероструктурной электроники,и измерительной техники, используемой для определения параметров приборов и устройств нано- и гетроструктурной электроники.;	• проводить измерения параметров типовых приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники.;	• практическими навыками работы на современном измерительном оборудовании, используемом для определения параметров приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники под руководством оператора.;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• перечень типового измерительного оборудования используемого для определения параметров приборов и устройств нано- и и гетроструктурной электроники.;	• проводить простые измерения параметров приборов и устройств ано- и гетероструктурной электроники с использованием типового измерительного оборудования.;	• методикой работы на типовом измерительном оборудовании, используемом для определения параметров приборов и устройств нано- и гетероструктурной электроники при прямом участии оператора;

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 Экзаменационные вопросы

– 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

Согласована на портале № 6220

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. Применение

3.3 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 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.

Согласована на портале № 6220

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.

3.4 Темы лабораторных работ

– Исследование светодиодов на основе полупроводниковых гетероструктур

– Транзисторы с высокой подвижностью HEMT на основе полупроводниковых гетероструктур

4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы фор-мирования 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. Троян П.Е. Наноэлектроника: учебное пособие / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. - Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственная корпорация "Российская корпорация нанотехнологий", Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2010 (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)
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.

4.2. 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 [1] (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. Учебно-методическое пособие и программное обеспечение

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/index.php?option=com_content&view=article&id=238
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/index.php?option=com_content&view=article&id=238
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

Согласована на портале № 6220