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

Наноэлектроника

Уровень основной образовательной программы: **Бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Профиль: **Промышленная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **4**
Семестр: **7**
Учебный план набора **2016** года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	7 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	20	20	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Лабораторные занятия	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	54	54	часов
5	Из них в интерактивной форме	12	46	часов
6	Самостоятельная работа	54	54	часов
7	Всего (без экзамена)	108	108	часов
8	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
9	Общая трудоемкость	144	144	часов
		4	4	З.Е

Экзамен: **7 семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 1783

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 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (квалификация (бакалавр), утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12.03.2015 г. № 218.

Рабочая программа учебной дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «___» _____ 2016 г., 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 ФЭТ _____ Воронин А. И.

Заведующий профилирующей каф. ПрЭ _____ Михальченко С.Г.

Заведующий выпускающей каф. ПрЭ _____ Михальченко С.Г.

Эксперты:

Председатель методической комиссии кафедры ПрЭ ТУСУР _____ Легостаев Н.С.

Председатель методической комиссии факультета ФЭТ ТУСУР _____ Чистоедова И. А.

Согласована на портале № 1783

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

является формирование научной основы, необходимой для создания элементов, приборов и устройств микро- и наноэлектроники

1.2. Задачи дисциплины

– изучение законов физики наноразмерных полупроводниковых структур 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 ООП

В соответствии с основной образовательной программой дисциплина «Наноэлектроника» относится к дисциплинам базовой части блока **Б1(Б1.Б.20**).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: физика конденсированного состояния, твердотельная электроника, материалы электронной техники.

Последующими дисциплинами являются: Микроволновая, квантовая и оптическая электроника.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– **ПК-2** способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;

– **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** методы экспериментального исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения; физико-математический аппарат для расчета приборов и устройств наноэлектроники;

– **уметь** проводить исследование параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения; проводить физико-математический расчет приборов и устройств наноэлектроники;

– **владеть** методикой проведения исследований параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения; методикой расчета приборов и устройств наноэлектроники;

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

№	Виды учебной деятельности	7 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	20	20	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Лабораторные занятия	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	54	54	часов
5	Из них в интерактивной форме	46	46	часов
6	Самостоятельная работа	54	54	часов
7	Всего (без экзамена)	108	108	часов

Согласована на портале № 1783

8	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
9	Общая трудоемкость	144	144	часов
		4	4	З.Е

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	2	4	ОПК-2
2	Физические основы наноэлектроники	4	6	0	10	20	ПК-2, ОПК-2
3	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	4	0	0	4	8	ПК-2, ОПК-2
4	Квантовые эффекты	4	6	4	14	28	ПК-2, ОПК-2
5	Устройства наноэлектроники	6	6	12	24	48	ПК-2, ОПК-2
	Итого	20	18	16	54	108	

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 (час.)	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-2
2	Физические основы 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	4	ПК-2, ОПК-2

Согласована на портале № 1783

		сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт.		
3	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 (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	ПК-2, ОПК-2
4	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.	4	ПК-2, ОПК-2
5	Устройства наноэлектроники	Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос. Одноэлектронная память. Устройства на основе сверхрешеток. Инфракрасные фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных структурах. Квантовые каскадные	6	ПК-2, ОПК-2

Согласована на портале № 1783

		лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT. Обзор программных средств для моделирования приборов и устройств наноэлектроники.		
	Итого		20	

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 конденсированного состояния	+	+	+	+	+
2	Твердотельная электроника	+	+	+	+	+
3	Материалы электронной техники	+	+	+	+	
Последующие дисциплины						
1	Микроволновая, квантовая и оптическая электроника			+	+	+

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			
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
ПК-2	+	+	+	+
ОПК-2	+	+	+	+

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 лабораторные занятия	Интерактивные лекции	Всего
Выступление студента в роли обучающего	2			2

Согласована на портале № 1783

Презентации с использованием видеофильмов с обсуждением			2	2
Исследовательский метод		2		2
Решение ситуационных задач	2			2
Мозговой штурм	2			2
Работа в команде		2		2
Итого	6	4	2	12

7. Лабораторный практикум

Содержание лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Содержание лабораторных работ

№	Названия разделов	Содержание лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции
7 семестр				
1	Квантовые эффекты	Туннельный эффект	4	ПК-2, ОПК-2
2	Устройства наноэлектроники	Исследование характеристик HEMT - транзистора	4	ПК-2, ОПК-2
3	Устройства наноэлектроники	Исследование светодиодов на основе ДГС	4	ПК-2, ОПК-2
4	Устройства наноэлектроники	Моделирование характеристик HEMT - транзистора	4	ПК-2, ОПК-2
	Итого		16	

8. Практические занятия

Содержание практических работ приведено в таблице 8.1.

Таблица 8. 1 – Содержание практических работ

№	Названия разделов	Содержание практических занятий	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции
7 семестр				
1	Физические основы наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Полупроводниковые наногетеростуктуры. Энергетические диаграммы наногетроструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Двойные гетероструктуры (ДГС). Полупроводниковые сверхрешетки. Энергетические диаграммы	6	ПК-2, ОПК-2

Согласована на портале № 1783

		сверхрешеток. Баллистический транспорт.		
2	Квантовые эффекты	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. Резонансно-туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами.	6	ПК-2, ОПК-2
3	Устройства наноэлектроники	Диоды на резонансном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Инфракрасные фотоприемники. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT.	6	ПК-2, ОПК-2
	Итого		18	

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 (час.)	Формируемые компетенции	Формы контроля
7 семестр					
1	Квантовые эффекты	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен
2	Физические основы наноэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен
3	Устройства наноэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-2, ОПК-2	Выполнение и защита лабораторных работ, Контрольная работа, Экзамен
4	Введение	Проработка лекционного материала	2	ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен

Согласована на портале № 1783

5	Квантовые эффекты	Проработка лекционного материала	4	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен
6	Устройства наноэлектроники	Проработка лекционного материала	6	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен
7	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Проработка лекционного материала	4	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен
8	Физические основы наноэлектроники	Проработка лекционного материала	4	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Контрольная работа, Экзамен
9	Устройства наноэлектроники	Оформление отчетов по лабораторным работам	4	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Выполнение и защита лабораторных работ, Контрольная работа, Экзамен
10	Устройства наноэлектроники	Оформление отчетов по лабораторным работам	4	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Выполнение и защита лабораторных работ, Контрольная работа, Экзамен
11	Устройства наноэлектроники	Оформление отчетов по лабораторным работам	4	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Выполнение и защита лабораторных работ, Контрольная работа, Экзамен
12	Квантовые эффекты	Оформление отчетов по лабораторным работам	4	ПК-2, ОПК-2	Отчет по индивидуальному заданию, Выполнение и защита лабораторных работ, Контрольная работа, Экзамен
	Всего (без экзамена)		54		
13	Подготовка к экзамену		36		Экзамен
	Итого		90		

Согласована на портале № 1783

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	10	10	10	30
Отчет по индивидуальному заданию	5	5	10	20
Выполнение и защита лабораторных работ		5	15	20
Экзамен				30
Нарастающим итогом	15	35	70	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.

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)

Согласована на портале № 1783

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. – 88 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 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. 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. - ISBN 5-98704-054-X. - ISBN 5-89155-149-7 (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)
3. 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] с (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)
4. Электроника: Учебное пособие для вузов / А.А. Щука; ред. А.С. Сигов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 799 с (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 государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. – 31 с – [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]. - http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=238

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 № 1783

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

Наноэлектроника

Уровень основной образовательной программы: **Бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Профиль: **Промышленная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **4**
Семестр: **7**

Учебный план набора **2016 года**

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

Экзамен: 7 семестр

Томск 2016

Согласована на портале № 1783

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
ПК-2	способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	**Должен знать:** методы экспериментального исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения; физико-математический аппарат для расчета приборов и устройств наноэлектроники; **Должен уметь**: проводить исследование параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения; проводить физико-математический расчет приборов и устройств наноэлектроники; Должен владеть методикой проведения исследований параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения; методикой расчета приборов и устройств наноэлектроники;
ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	

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

Согласована на портале № 1783

2 Реализация компетенций

2.1 Компетенция ПК-2

ПК-2: способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

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	методы экспериментального исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения;	проводить исследование параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения;	методикой проведения исследований параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения;
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Конспект по самостоятельной работе	• Контрольная работа; • Выполнение и защита лабораторных работ; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Конспект по самостоятельной работе	• Выполнение и защита лабораторных работ; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Конспект по самостоятельной работе

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	• Проводить исследования	• практическими навыками работы на

Согласована на портале № 1783

	развития наноэлектроники и измерительной техники, используемой для экспериментального исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения. Диапазон и физический смысл измеряемых параметров;	параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения с использованием современного измерительного оборудования; Проводить настройку и обработку результатов измерений;	современном измерительной оборудовании, используемом для исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения. Методикой настройки измерительного обрудования, а также методикой обработки результатов исследования;
Хорошо (базовый уровень)	• типовую измерительную технику, используемую для ля экспериментального исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения;	• Проводить исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения с использованием типового измерительного оборудования;	• практическими навыками работы на типовом измерительной оборудовании, используемом для исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения;
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• перечень типового измерительного оборудования используемого для экспериментального исследования параметров и характеристик основных приборов наноэлектроники;	• проводить простые измерения параметров основных приборов наноэлектроники;	• навыками поиска и использования справочной литературы для самостоятельной работы на типовом измерительной оборудовании, используемом для исследования параметров и характеристик основных приборов наноэлектроники;

2.2 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 представлены в таблице 5.

Согласована на портале № 1783

Таблица 5 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	физико-математический аппарат для расчета приборов и устройств наноэлектроники	проводить физико-математический расчет приборов и устройств наноэлектроники	методикой расчета приборов и устройств наноэлектроники
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка к экзамену;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Конспект по самостоятельной работе	• Контрольная работа; • Выполнение и защита лабораторных работ; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Конспект по самостоятельной работе	• Выполнение и защита лабораторных работ; • Отчет по индивидуальному заданию; • Экзамен; • Конспект по самостоятельной работе

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

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

Согласована на портале № 1783

	также перечень справочной и методической литературы с примерами расчета приборов и устройств наноэлектроники	литературу с примерами расчета приборов и устройств наноэлектроники	методикой поиска справочной и методической литературы с примерами расчета приборов и устройств наноэлектроники.

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 № 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 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

Согласована на портале № 1783

– 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.

3.3 Экзаменационные вопросы

– Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые пленки. 2. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые точки. 3. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые шнуры. 4. Гетероструктуры. Энергетическая диаграмма ДГС. Основные требования, предъявляемые к гетероструктурам. Методы изготовления гетероструктур. 5. Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. 6. Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Свойство электронов в сверхрешетках. 7. Баллистический транспорт. Квант сопротивления. Квант проводимости. 8. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых точек. 9. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых проволок. 10. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых пленок. 11. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Уровни Ландау. 12. Целочисленный и дробный эффект Холла. 13. Эффект Штарка. Эффект Штарка в гетероструктурах с квантовыми ямами. 14. Туннельный эффект. Коэффициент прозрачности барьера. Резонансный туннельный эффект. 15. Эффект Джозефсона. Практическое применение эффекта Дзозефсона. 16. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. 17. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами одинаковой прозрачности. 18. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами различной прозрачности. 19. Сотуннелирование. Где наблюдается. Причины. 20. Резонансно туннельный диод. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. ВАХ. 21. Резонансно туннельный транзистор. Конструкция. Принцип работы. ВАХ. 22. Одноэлектронный транзистор. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики. 23. HEMT транзисторы. Конструкции pHEMT транзисторов. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики. Применение. 24. HEMT транзисторы. Конструкции mHEMT транзисторов. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики. Применение. 25. Светодиоды и лазеры на основе ДГС. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Основные характеристики. Применение. 26. Светодиоды и лазеры на основе ДГС и квантовых точек. Конструкции. Принцип работы. Достоинства и недостатки. 27. Квантовые каскадные лазеры. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение. 28. ИК-фотоприемники. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение. 29. Оптические модуляторы. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение. 30. Лавинные фотодиоды. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение.

3.4 Темы лабораторных работ

– Моделирование характеристик HEMT - транзистора
– Исследование светодиодов на основе ДГС
– Исследование характеристик HEMT - транзистора
– Туннельный эффект

Согласована на портале № 1783

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. – 88 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 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. 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. - ISBN 5-98704-054-X. - ISBN 5-89155-149-7 (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)

3. 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] с (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

4. Электроника: Учебное пособие для вузов / А.А. Щука; ред. А.С. Сигов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 799 с (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. – 20 с [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]. - http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=238

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 № 1783