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 образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль): **Промышленная электроника**
Форма обучения: **заочная**
Факультет: **ЗиВФ, Заочный и вечерний факультет**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **4**
Семестр: **7, 8**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	7 семестр	8 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	4	2	6	часов
2	Практические занятия	2	4	6	часов
3	Лабораторные работы		8	8	часов
4	Всего аудиторных занятий	6	14	20	часов
5	Из них в интерактивной форме	2	3	5	часов
6	Самостоятельная работа	66	90	156	часов
7	Всего (без экзамена)	72	104	176	часов
8	Подготовка и сдача зачета		4	4	часов
9	Общая трудоемкость	72	108	180	часов
		5.0		5.0	З.Е

Контрольные работы: 8 семестр - 1
Зачет: **8 семестр**

Томск 2017

Согласована на портале № 20404

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 44 от «31» 3 2017 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12 марта 2015 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

Доцент каф. ПрЭ _____ Ю. В. Сахаров

Заведующий обеспечивающей каф. ПрЭ _____ С. Г. Михальченко

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

Декан ЗиВФ _____ И. В. Осипов

Заведующий выпускающей каф. ПрЭ _____ С. Г. Михальченко

Эксперты:

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

Доцент ТУСУР, каф. ПрЭ _____ Н. С. Легостаев

Согласована на портале № 20404

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

– 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 ОПОП

Дисциплина «Наноэлектроника» (Б1.В.ОД.7) относится к обязательным дисциплинам блока 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Материалы электронной техники, Микроволновая, квантовая и оптическая электроника, Микроэлектроника, Твердотельная электроника, Физика, Химия.

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;

– 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;

В результате изучения дисциплины студент должен:

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

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

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

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	8 семестр
Аудиторные занятия (всего)	20	6	14
Лекции	6	4	2
Практические занятия	6	2	4
Лабораторные работы	8		8
Из них в интерактивной форме	5	2	3
Самостоятельная работа (всего)	156	66	90
Оформление отчетов по лабораторным работам	25		25

Согласована на портале № 20404

Проработка лекционного материала	91	51	40
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	30	15	15
Выполнение контрольных работ	10		10
Всего (без экзамена)	176	72	104
Подготовка и сдача зачета	4		4
Общая трудоемкость ч	180	72	108
Зачетные Единицы	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
7 семестр						
1 Введение	1	0	0	15	16	ОПК-2, ПК-2
2 Физические основы наноэлектроники	2	2	0	40	44	ОПК-2, ПК-2
3 Способы формирования квантово-размерных наноструктур	1	0	0	11	12	ОПК-2, ПК-2
Итого за семестр	4	2	0	66	72	
8 семестр						
4 Квантовые эффекты	1	2	4	55	62	ОПК-2, ПК-2
5 Элементы и приборы наноэлектроники	1	2	4	35	42	ОПК-2, ПК-2
Итого за семестр	2	4	8	90	104	
Итого	6	6	8	156	176	

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	1	ОПК-2, ПК-2

Согласована на портале № 20404

	дисциплинами. Задачи курса.		
	Итого	1	
2 Физические основы наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантово-размерные объекты и их классификация. Полупроводниковые наногетеростуктуры. Энергетические диаграммы наногетроструктур. Требования, предъявляемые к наногетероструктурам. Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Виды сверхрешеток.	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
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).	1	ОПК-2, ПК-2
	Итого	1	
Итого за семестр		4	
8 семестр			
4 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. Эффект Джозефсона. Кулоновская блокада.	1	ОПК-2, ПК-2
	Итого	1	
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор.Устройства на основе сверхрешеток. ИК - фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных структурах. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT.	1	ОПК-2, ПК-2
	Итого	1	
Итого за семестр		2	
Итого		6	

Согласована на портале № 20404

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 Материалы электронной техники		+			
2 Микроволновая, квантовая и оптическая электроника				+	+
3 Микроэлектроника	+	+	+		+
4 Твердотельная электроника	+	+	+	+	+
5 Физика		+	+	+	+
6 Химия		+	+		+

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, Домашнее задание, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Зачет, Тест
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Домашнее задание, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Зачет, Тест

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

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

Согласована на портале № 20404

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

Методы	Интерактивные практические занятия	Интерактивные лекции	Интерактивные лабораторные занятия	Всего
7 семестр				
Презентации с использованием слайдов с обсуждением		1		1
Решение ситуационных задач	1			1
Итого за семестр:	1	1	0	2
8 семестр				
Презентации с использованием мультимедиа с обсуждением		1		1
Решение ситуационных задач	1			1
Исследовательский метод			1	1
Итого за семестр:	1	1	1	3
Итого	2	2	1	5

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
4 Квантовые эффекты	Туннельный эффект	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Исследование светодиодов на основе ДГС	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		8	
Итого		8	

Согласована на портале № 20404

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
7 семестр			
2 Физические основы наноэлектроники	Волны Де Бройля. Квантовое ограничение. Полупроводниковые наногетеростуктуры.	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
Итого за семестр		2	
8 семестр			
4 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.	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Диоды на резонансном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Инфракрасные фотоприемники. Светодиоды и лазеры на основе ДГС. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT.	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
Итого за семестр		4	
Итого		6	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
7 семестр				
1 Введение	Проработка лекционного материала	15	ПК-2	Зачет, Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе
	Итого	15		

Согласована на портале № 20404

2 Физические основы наноэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	15	ОПК-2, ПК-2	Домашнее задание, Зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Проработка лекционного материала	25		
	Итого	40		
3 Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Проработка лекционного материала	11	ОПК-2, ПК-2	Зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе
	Итого	11		
Итого за семестр		66		
8 семестр				
4 Квантовые эффекты	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	15	ОПК-2, ПК-2	Домашнее задание, Зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Проработка лекционного материала	25		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	15		
	Итого	55		
5 Элементы и приборы наноэлектроники	Выполнение контрольных работ	10	ОПК-2, ПК-2	Домашнее задание, Зачет, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Проработка лекционного материала	15		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	10		
	Итого	35		
Итого за семестр		90		
	Подготовка и сдача зачета	4		Зачет
Итого		160		

9.1. Темы контрольных работ

1. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT.

10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Не предусмотрено

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Борисенко В. Е. Наноэлектроника: учебное пособие для вузов / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 224 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)

2. Наноэлектроника: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. 88 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/537, дата обращения: 24.05.2017.

Согласована на портале № 20404

3. 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. 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.)

12.2. Дополнительная литература

1. Чаплыгин Ю.А. Нанотехнологии в электронике: Монография / Н. И. Боргардт [и др.] ; ред. Ю. А. Чаплыгин ; Московский государственный институт электронной техники. - М. : Техносфера, 2005. - 446 с. - ISBN 5-94836-059-8 (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.)

2. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М. : Физматкнига ; М. : Логос ; М. : Университетская книга, 2006. - 494 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)

12.3 Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Троян П.Е. Наноэлектроника: 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/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]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_lab.pdf

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 нанотехнологиям http://nanodigest.ru/stati/issledovaniia-i-razrabotki/nanoelektronika-dostizheniia-i-perspektiv

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

13.1. Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 40, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются наглядные пособия в виде презентаций по лекционным разделам дисциплины. Аудитория

Согласована на портале № 20404

оборудована мультимедийным системой (проектор, экран, звуковая система) для реализации интерактивных форм обучения.

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 40, 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.

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.

Обязательным условием допуска к зачету является выполнение и защита всех лабораторных работ, контрольных работ, а также выполнение и защита индивидуального задания

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.

Согласована на портале № 20404

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;
- 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 № 20404

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 образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль): **Промышленная электроника**
Форма обучения: **заочная**
Факультет: **ЗиВФ, Заочный и вечерний факультет**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **4**
Семестр: **7, 8**

Учебный план набора 2016 года

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

Зачет: 8 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 20404

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 физико-математический аппарат для расчета приборов и устройств наноэлектроники; методы экспериментального исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения.; Должен уметь проводить физико-математический расчет приборов и устройств наноэлектроники; проводить исследование параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения.; Должен владеть методикой расчета приборов и устройств наноэлектроники; методикой проведения исследований параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения.;
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 № 20404

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	типовым измерительным оборудованием, используемым для экспериментального исследования параметров и характеристик основных приборов наноэлектроники
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные работы;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные работы;	• Интерактивные практические занятия; • Самостоятельная работа; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные работы;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по индивидуальному заданию; • Отчет по лабораторной работе; • Тест; • Зачет;	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по индивидуальному заданию; • Отчет по лабораторной работе; • Тест; • Зачет;	• Отчет по лабораторной работе; • Домашнее задание; • Отчет по индивидуальному заданию; • 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)	• современное состояние и тенденции развития наноэлектроники и измерительной техники,	• Проводить исследования параметров и характеристик приборов	• практическими навыками работы на современном измерительной оборудовании,

Согласована на портале № 20404

	используемой для экспериментального исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения. Диапазон и физический смысл измеряемых параметров;	наноэлектроники различного функционального назначения с использованием современного измерительного оборудования; Проводить настройку и калибровку измерительного оборудования, а также обработку результатов измерений с использованием статистического анализа;	используемом для исследования параметров и характеристик приборов наноэлектроники различного функционального назначения. Методикой настройки и калибровки измерительного оборудования, а также методикой обработки результатов исследования с использованием современных программных комплексов;
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 современного измерительного оборудования;	• практическими навыками работы на современном измерительном 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 приборов наноэлектроники с использованием типового измерительного оборудования;	• навыками 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 № 20404

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; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные работы;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные работы;	• Интерактивные практические занятия; • Самостоятельная работа; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные работы;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по индивидуальному заданию; • Отчет по лабораторной работе; • Тест; • Зачет;	• Контрольная работа; • Домашнее задание; • Отчет по индивидуальному заданию; • Отчет по лабораторной работе; • Тест; • Зачет;	• Отчет по лабораторной работе; • Домашнее задание; • Отчет по индивидуальному заданию; • Зачет;

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; решать задачи повышенной сложности по расчету приборов и устройств наноэлектроники;	• физико-математическим аппаратом для решения задач повышенной сложности возникающих в ходе профессиональной деятельности;
Хорошо (базовый уровень)	• основные расчетные формулы, используемые для расчета приборов и устройств наноэлектроники;	• решать задачи средней сложности по расчету приборов и устройств наноэлектроники;	• методикой расчета приборов и устройств наноэлектроники;
Удовлетворительно (пороговый	• основные параметры приборов и устройств	• решать простые задачи, используя	• методикой расчета параметров

Согласована на портале № 20404

уровень)	наноэлектроники, а также перечень справочной и методической литературы с примерами расчета приборов и устройств наноэлектроники;	справочную и методическую литературу с примерами расчета приборов и устройств наноэлектроники;	гетероструктур, а также 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 Тестовые задания

– 1. В каких структурах на ВАХ наблюдается «Кулоновская лестница»

– а) в однобарьерных структурах с низкой прозрачностью перехода б) в двухбарьерной структуре при одинаковых прозрачностях переходов в) в двухбарьерной структуре при различных прозрачностях переходов

– 2. Что происходит с массивом квантовых точек при увеличении температуры

– подложки в процессе эпитаксиального роста:

– а) увеличивается размер основания, б) увеличивается высота в) увеличивается поверхностная плотность г) уменьшается размер основания д) уменьшается высота е) уменьшается поверхностная плотность

– 3. Выберите пару(ы) материалов из предложенных, для создания на их основе

– синего светодиода с длиной волны 420 нм

– а) GaAs б) AlGaAs в) GaN г) GaAsP д) InGaN е) GaP ж) GaInP з) ZnSe и) InP к) ZnMnSe

– 4. От чего зависит сопротивление баллистической квантовой проволоки

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

– Полный список вопросов в тесте приведен в учебно-методическом пособии по практикам и самостоятельной работы студентов (п. 4).

3.2 Зачёт

– 1. 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

Согласована на портале № 20404

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.

3.3 Темы домашних заданий

– Самостоятельное освоение следующих разделов наноэлектроники:

– 2 Глава "Физические основы наноэлектроники"

– Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества. Баллистический транспорт.

– 3 Глава "Способы формирования квантово-размерных наноструктур"

– 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 Глава "Квантовые эффекты"

– Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. Сотуннелирование

– 5 Глава "Устройства наноэлектроники"

– Транзисторы с высокой подвижностью HEMT. Обзор программных средств для моделирования приборов и устройств наноэлектроники

3.4 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). Каждый вариант снабжен уникальным текстом задания, а также уникальными начальными данными, исключающими повторение. 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

3.5 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

Согласована на портале № 20404

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

– 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.

3.6 Темы лабораторных работ

– Туннельный эффект
– Исследование светодиодов на основе ДГС

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 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. (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.)

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

3. 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. 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.)

4.2. 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. :

Согласована на портале № 20404

Техносфера, 2005. - 446 с. - ISBN 5-94836-059-8 (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.)

2. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М. : Физматкнига ; М. : Логос ; М. : Университетская книга, 2006. - 494 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 32 экз.)

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]. - 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]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Sakharov/Nanoelectronics_lab.pdf

4.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы

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

Согласована на портале № 20404