МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
Проректор по учебной работе
_____ **П. Е. Троян**
«25» 08 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

Профиль **«Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике»**

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 3 **Семестр** 5

Учебный план набора 2016, 2015, 2014 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции					18				18	часов
2.	Лабораторные работы					16				16	часов
3.	Практические занятия					18				18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)					-				-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)					52				52	часов
6.	Из них в интерактивной форме					10				10	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)					56				56	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)					108				108	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена					36				36	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)					144				144	часов
	(в зачетных единицах)					4				4	ЗЕТ

Экзамен 5 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 6961

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 71 от «30» 6 2016 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (квалификация (бакалавр), утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 06.03.2015 г. № 177.

Рабочая программа учебной дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «30» 06 2016 г., протокол № 71.

Разработчик:
Доцент кафедры ФЭ _____ / Ю.В. Сахаров

Заведующий кафедрой
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян

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

Декан ФЭТ _____ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

Эксперты:
Председатель методической комиссии факультета ФЭТ _____ / И.А. Чистоедова

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

Согласована на портале № 6961

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Наноэлектроника» является формирование научной основы, необходимой для создания элементов, приборов и устройств микро- и наноэлектроники

Задачей изучения дисциплины «Наноэлектроника» является 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 1 (**Б1.Б.20**).

Основой для изучения дисциплины «Наноэлектроника» являются курсы: физика, квантовая механика, физика конденсированного состояния, твердотельная электроника.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: квантовая и оптическая электроника, технология кремниевой наноэлектроники.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих компетенций:

- **ОПК-5** способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;
- **ОПК-7** способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;
- **ПК-1** способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий.

3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

знать:

- основные приемы представления и обработки экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники;
- современное состояние и тенденции развития наноэлектроники и микросистемной техники. Физические принципы измерений и современную измерительную технику в области наноэлектроники и микросистемной техники;
- программные средства для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники и микросистемной техники.

уметь:

- проводить обработку экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники;
- проводить анализ научно-технической литературы в области наноэлектроники и микросистемной техники. Проводить измерения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники;
- пользоваться программными средствами для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.

владеть:

- методикой представления и обработки экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники;
- физическими принципами работы приборов и устройств наноэлектроники и

Согласована на портале № 6961

микросистемной техники. Методикой проведения измерений параметров приборов и устройств наноэлектроики;
- методикой расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___4___ зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	**52**	**52**
В том числе:	-	
Лекции	18	18
Лабораторные работы	16	16
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа (всего)	**56**	**56**
В том числе:	-	
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к лабораторным работам	10	10
Выполнение практических заданий	10	10
Выполнение и защита индивидуального задания	10	10
Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	16	16
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	**36**	**36**
Общая трудоемкость, час	**144**	**144**
Зачетные Единицы Трудоемкости	**4**	**4**

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ПК, ОПК)
1.	Введение	2	-	-	2	4	ОПК-7
2.	Физические основы наноэлектроники.	6	6	-	12	24	ОПК-7, ПК-1
3.	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	2	-	-	16	18	ОПК-7
4.	Квантовые эффекты	4	4	4	10	22	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1
5.	Устройства наноэлектроники	4	8	12	16	40	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ПК, ОПК)
1.	Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы исторического развития наноэлектроники и нанотехнологии. Связь с другими дисциплинами. Задачи курса.	2	ОПК-7
2.	Физические основы наноэлектроники.	Квантовое ограничение. Полупроводниковые гетеростуктуры. Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантоворазмерных эффектов на свойства вещества.	6	ОПК-7, ПК-1

Согласована на портале № 6961

3.	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	Формирование квантовых точек. Формирование квантовых проволок (нитей). Формирование квантовых ям.	2	ОПК-7
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	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1
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 лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью HEMT.	4	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1

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

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин				
		1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины						
1.	физика	+	+	+	+	+
2.	квантовая механика	+	+	+	+	+
3.	физика конденсированного состояния		+	+	+	+
4.	твердотельная электроника	+			+	+
Последующие дисциплины						
1.	квантовая и оптическая электроника		+	+	+	+
2.	технология кремниевой наноэлектроники			+	+	+

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Перечень компетенций	Виды занятий				Формы контроля
	Л	ПЗ	ЛР	СРС	
ОПК-5			+	+	Допуск к лабораторным работам. Защита отчетов по лабораторным работам.
ОПК-7	+	+	+	+	Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Оценка за контрольную работу.
ПК-1		+	+	+	Защита индивидуального задания. Работа на практических занятиях. Решение задач у доски. Оценка за контрольную работу.

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Формы / Методы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Лабораторные работы (час)	Всего
Работа в малых группах			4	4

Согласована на портале № 6961

Метод проектов		4		4
Дискуссия	2			2
Итого интерактивных занятий	2	4	4	10

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ПК, ОПК
1.	**4**	Туннельный эффект	4	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1
2.	**5**	Исследование характеристик HEMT - транзистора	4	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1
3.	**5**	Исследование светодиодов на основе ДГС	4	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1
4.	**5**	Исследование температурных характеристик светодиодов на основе ДГС	4	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ПК, ОПК
1.	**2**	Квантовое ограничение. Энергетические диаграммы сверхрешеток	2	ПК-1
2.	**2**	Полупроводниковые гетеростуктуры. Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки.	4	ПК-1
3.	**4**	2D-электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона	2	ПК-1
4.	**4**	Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами	2	ПК-1
5.	**5**	Инфракрасные фотоприемники. Квантовые каскадные лазеры.	2	ПК-1
6.	**5**	Одноэлектронный транзистор	2	ПК-1
7.	**2**	КР-1. Основы наноэлектроники	2	ПК-1
8.	**4, 5**	КР-2. Квантовые эффекты. Приборы наноэлеткроники.	2	ПК-1

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ПК, ОПК	Контроль выполнения работы
1.	**1-5**	Проработка лекционного материала	10	ОПК-7	Опрос на лекциях
2.	**2-5**	Выполнение практических занятий	10	ПК-1	Отчеты по практическим работам
3.	**2, 4, 5**	Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам	16	ОПК-7, ПК-1	Результаты контрольных работ
4.	**4,-5**	Выполнение и защита лабораторных работ	10	ОПК-5	Отчеты по лабораторным работам
5.	**2, 4, 5**	Выполнение и защита индивидуального задания	10	ОПК-7, ПК-1	Защита индивидуального задания

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

не предусмотрено

Согласована на портале № 6961

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Выполнение и защита индивидуального задания	10	10		**20**
Контрольные работы	10	10		**20**
Защита лабораторных работ		10	10	**20**
Отчеты по практическим занятиям	5	10	5	**20**
Компонент своевременности			10	**10**
Посещение занятий			10	**10**
Итого максимум за период:	**25**	**40**	**35**	**100**
Нарастающим итогом	**25**	**65**	**100**	**100**

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

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)

Тематика индивидуальных заданий:

Тема индивидуального задания:
Расчет устройств наноэлектроники
Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.5).

Тематика контрольных работ:

Тема контрольной работы № 1: *Физические основы наноэлектроники* (Раздел 2 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.2.1 – п.2.4).

Тема контрольной работы № 2: *Квантовые эффекты. Устройства наноэлектроники* (Разделы 4-5 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п. 2.5 - п.2.12).

Согласована на портале № 6961

Учебно-методическое пособие содержат варианты заданий для контрольных работ и индивидуальных заданий. Для самостоятельного изучения рекомендуется список литературы и приводятся справочные материалы.

Вопросы для подготовки к экзамену:

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 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.

Согласована на портале № 6961

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

12.1.1. 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 **(81)**

12.1.2 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. **(15)**

12.2 Дополнительная литература

12.2.1. 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 **(20)**

12.2.2. 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 **(32).**

12.2.3. Неволин В.К. **Зондовые нанотехнологии в электронике** / В.К. Неволин. – М.: Техносфера, 2005. – 147 [5] с. **(9)**

12.2.4. **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. **(10)**

12.2.5. **Электроника:** Учебное пособие для вузов / А.А. Щука; ред. А.С. Сигов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 799 с. **(3)**

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. Троян П.Е. **Наноэлектроника:** Учебно-методическое пособие и пособие по самостоятельной работе для ВУЗов / 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

12.1.2. 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

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. Конспектирование студентами лекционного материала обязательно.

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.

БИБЛИОТЕКА ТУСУР

Согласована на портале № 6961

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«25» 08 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
НАНОЭЛЕКТРОНИКА

(полное наименование учебной дисциплины или практики)

Уровень основной образовательной программы бакалавриат
(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Направление(я) подготовки (специальность) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
(полное наименование направления подготовки (специальности))

Профиль(и) «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике»
(полное наименование профиля направления подготовки (специальности))

Форма обучения очная
(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

Факультет электронной техники (ФЭТ)
(сокращенное и полное наименование факультета)

Кафедра физической электроники (ФЭ)
(сокращенное и полное наименование кафедры)

Курс 3 **Семестр** 5

Учебный план набора 2014, 2015, 2016 года и последующих лет.

Зачет _____ **семестр** **Диф. зачет** _____ **семестр**

Экзамен 5 **семестр**

Разработчики: доцент каф. ФЭ Сахаров Ю.В.

Томск 2016

Согласована на портале № 6961

1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Наноэлектроника» 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 «Наноэлектроника» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Наноэлектроника» компетенций приведен в **таблице 1.**

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-5	Способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	**Знать** основные приемы представления и обработки экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники. **Уметь** проводить обработку экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники. **Владеть** методикой представления и обработки экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.
ОПК-7	Способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности	**Знать** современное состояние и тенденции развития наноэлектроники и микросистемной техники. Физические принципы измерений и современную измерительную технику в области наноэлектроники и микросистемной техники. **Уметь** проводить анализ научно-технической литературы в области наноэлектроники. Проводить измерения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники. **Владеть** физическими принципами работы приборов и устройств наноэлектроники. Методикой проведения измерений параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.

Согласована на портале № 6961

ПК-1	Способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий.	**Знать** программные средства для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники. **Уметь** пользоваться программными средствами для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники. **Владеть** методикой расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.

2 Реализация компетенций

2.1. Компетенция ОПК-5

ОПК-5: Способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в **таблице 2.1**

Таблица 2.1– Этапы формирования компетенции ОПК-5 и используемые средства оценивания

1. Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	**Знать** основные приемы представления и обработки экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники	**Уметь** проводить обработку экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники	**Владеть** методикой представления и обработки экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Индивидуальные задания	Практические занятия; Индивидуальные задания Лабораторные работы	Практические занятия; Индивидуальные задания Лабораторные работы
Используемые средства оценивания	Контрольные работы; Тесты; Защита индивидуальных заданий; Выполнение практических занятий	Контрольные работы; Защита индивидуальных заданий; Выполнение практических занятий Выполнение	Контрольные работы; Защита индивидуальных заданий; Выполнение практических занятий Выполнение

Согласована на портале № 6961

	Выполнение лабораторных работ и защита отчетов;	лабораторных работ и защита отчетов;	лабораторных работ и защита отчетов;

2.2.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 2.2**

Таблица 2.2 – Этапы формирования компетенции ОПК-7 и используемые средства оценивания

2. Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	**Знать** современное состояние и тенденции развития наноэлектроники. Физические принципы измерений и современную измерительную технику в области наноэлектроники и микросистемной техники.	**Уметь** проводить анализ научно-технической литературы в области наноэлектроники. Проводить измерения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.	**Владеть** физическими принципами работы приборов и устройств наноэлектроники. Методикой проведения измерений параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Индивидуальные задания;	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальные задания;	Практические занятия; Лабораторные работы;
Используемые средства оценивания	Контрольные работы; Тесты; Защита индивидуальных заданий; Выполнение практических занятий	Контрольные работы; Выполнение лабораторных работ и защита отчетов; Индивидуальные задания; Защита практических занятий	Выполнение лабораторных работ и защита отчетов; Защита практических занятий

2.3.Компетенция ПК-1

ПК-1: Способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в **таблице 2.3.**

Согласована на портале № 6961

Таблица 2.3 – Этапы формирования компетенции ПК-1 и используемые средства оценивания

3. Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	**Знать** программные средства для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.	**Уметь** пользоваться программными средствами для расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.	**Владеть** методикой расчета и моделирования приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.
Виды занятий	Лекции; Практические занятия; Индивидуальные задания;	Практические занятия; Лабораторные работы; Индивидуальные задания;	Практические занятия; Лабораторные работы;
Используемые средства оценивания	Контрольные работы; Тесты; Защита индивидуальных заданий; Выполнение практических занятий	Контрольные работы; Выполнение лабораторных работ и защита отчетов; Индивидуальные задания; Защита практических занятий	Выполнение лабораторных работ и защита отчетов; Защита практических занятий

3 Оценка компетенций

3.1.Компетенция ОПК-5

ОПК-5: Способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам приведены в **таблице 3.1.**

Таблица 3.1 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции 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 твор-ческих решений, абстрагирования проблем	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения	Берет ответственность за завершение задач в исследовании,

Согласована на портале № 6961

	области	определенных проблем в области исследования	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

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции ОПК-2 приведена в **таблице 3.2.**

Таблица 3.2 - Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	**Знать**	**Уметь**	**Владеть**
Отлично (высокий уровень)	**Знает** основные приемы обработки и представления экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием современного программного обеспечения; статистический анализ.	**Умеет** проводить обработку и представление экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием современного программного обеспечения; проводить статистический анализ и прогнозирование.	**Владеет** методикой обработки и представления экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием статистического анализа и прогнозирования
Хорошо (базовый уровень)	**Знает** основные приемы обработки и представления экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием современного программного обеспечения.	**Умеет** проводить обработку и представление экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием современного программного обеспечения. .	**Владеет** методикой обработки и представления экспериментальных данных приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	**Знает** основные параметры приборов и устройств наноэлектроники, а	**Умеет** решать простые задачи, используя справочную и методическую	Владеет методикой расчета параметров гетероструктур, а также методикой

Согласована на портале № 6961

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

3.2.Компетенция ОПК-7

ОПК-7: Способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.
Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам приведены в **таблице 3.3**.

Таблица 3.3 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции 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

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции ОПК-7 приведена **в таблице 3.4.**

Таблица 3.4. - Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть

Согласована на портале № 6961

Отлично (высокий уровень)	**Знает** современное состояние и тенденции развития наноэлектроники и измерительной техники, используемой для определения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники. Диапазон и физический смысл измеряемых параметров	Умеет проводить анализ научно-технической литературы в области наноэлектроники и микросистемной техники. Проводить измерения параметров приборов и устройств наноэлектроники	**Владеет** практическими навыками работы на современном измерительной оборудовании, используемом для определения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.
Хорошо (базовый уровень)	**Знает** современное состояние наноэлектроники и измерительной техники, используемой для определения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники. Диапазон и физический смысл измеряемых параметров	**Умеет** проводить измерения параметров типовых приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.	**Владеет** практическими навыками работы на современном измерительном оборудовании, используемом для определения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники под руководством оператора.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	**Знает** перечень типового измерительного оборудования используемого для определения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.	**Умеет** проводить простые измерения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием типового измерительного оборудования	**Владеет** методикой работы на типовом измерительном оборудовании, используемом для определения параметров приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники при прямом участии оператора.

3.3. Компетенция ПК-1

ПК-1: Способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам приведены в **таблице 3.5**.

Согласована на портале № 6961

Таблица 3.5 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции 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

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции ПК-1 приведена в **таблице 3.6.**

Таблица 3.6 - Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	**Знает** в совершенстве современные программные комплексы для моделирования и расчета приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники	**Умеет** строить сложные физические и математические модели приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием современных программных комплексов.	**Владеет** методикой построения сложных физических и математических моделей приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники.
Хорошо (базовый уровень)	**Знает** основные программные комплексы для моделирования и расчета приборов и устройств	**Умеет** строить простые физические и математические модели приборов и устройств наноэлектроники и	**Владеет** методикой построения простых физических и математических моделей приборов и устройств

Согласована на портале № 6961

	наноэлектроники и микросистемной техники	микросистемной техники с использованием современных программных комплексов.	наноэлектроники и микросистемной техники
Удовлетворительно (пороговый уровень)	**Знает** перечень основных программных комплексов для моделирования и расчета приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники	**Умеет** строить типовые физические и математические модели приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники с использованием программных комплексов, при наличии руководства пользователя	**Владеет** методикой построения типовых физических и математических моделей приборов и устройств наноэлектроники и микросистемной техники при наличии руководства пользователя

4 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются, необходимые для оценки знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе: тесты, контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, экзамен.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

4.1. Контрольные работы:

Тема контрольной работы № 1: *Физические основы наноэлектроники* (Раздел 2 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.2.1 – п.2.4).

Тема контрольной работы № 2: *Квантовые эффекты. Устройства наноэлектроники* (Разделы 4-5 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п. 2.5 - п.2.12).

4.2. Тесты по следующим разделам:

1. Физические основы наноэлектроники.;
2. Квантовые эффекты;
3. Устройства наноэлектроники.

4.3. Индивидуальные задания

Выполнение домашних индивидуальных заданий на тему: «*Расчет устройств наноэлектроники*». Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.5)

Согласована на портале № 6961

4.4. Темы практических занятий:

1. Квантовое ограничение. Энергетические диаграммы сверхрешеток
2. Полупроводниковые гетеростуктуры. Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки.
3. 2D-электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона
4. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами
5. Инфракрасные фотоприемники. Квантовые каскадные лазеры.
6. Одноэлектронный транзистор

4.5. Лабораторные работы:

1. Туннельный эффект
2. Исследование характеристик HEMT - транзистора
3. Исследование светодиодов на основе ДГС
4. Моделирование характеристик HEMT – транзистора

4.6. Экзамен:

Вопросы для подготовки к экзамену:

31. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые пленки.
32. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые точки.
33. Волна Де Бройля. Квантовое ограничение. Квантовые шнуры.
34. Гетероструктуры. Энергетическая диаграмма ДГС. Основные требования, предъявляемые к гетероструктурам. Методы изготовления гетероструктур.
35. Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Минизоны.
36. Сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Свойство электронов в сверхрешетках.
37. Баллистический транспорт. Квант сопротивления. Квант проводимости.
38. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых точек.
39. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых проволок.
40. Способы формирования квантоворазмерных структур. Формирование квантовых пленок.
41. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Уровни Ландау.
42. Целочисленный и дробный эффект Холла.
43. Эффект Штарка. Эффект Штарка в гетероструктурах с квантовыми ямами.
44. Туннельный эффект. Коэффициент прозрачности барьера. Резонансный туннельный эффект.
45. Эффект Джозефсона. Практическое применение эффекта Джозефсона.
46. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом.
47. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами одинаковой прозрачности.

Согласована на портале № 6961

48. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами различной прозрачности.
49. Сотуннелирование. Где наблюдается. Причины.
50. Резонансно туннельный диод. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. ВАХ.
51. Резонансно туннельный транзистор. Конструкция. Принцип работы. ВАХ.
52. Одноэлектронный транзистор. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики.
53. HEMT транзисторы. Конструкции pHEMT транзисторов. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики. Применение.
54. HEMT транзисторы. Конструкции mHEMT транзисторов. Принцип работы. Передаточные и выходные характеристики. Применение.
55. Светодиоды и лазеры на основе ДГС. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Основные характеристики. Применение.
56. Светодиоды и лазеры на основе ДГС и квантовых точек. Конструкции. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
57. Квантовые каскадные лазеры. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение.
58. ИК-фотоприемники. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение.
59. Оптические модуляторы. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение.
60. Лавинные фотодиоды. Конструкция. Энергетическая диаграмма. Принцип работы. Применение.

5 Методические материалы

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

5.1 Основная литература

5.1.1. 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 **(81)**

5.1.2 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. **(15)**

5.2 Дополнительная литература

5.2.1. 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 **(20)**

5.2.2. 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 **(32).**

5.2.3. Неволин В.К. **Зондовые нанотехнологии в электронике** / В.К. Неволин. – М.:

Согласована на портале № 6961

Техносфера, 2005. – 147 [5] с. **(9)**

5.2.4. **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. **(10)**

5.2.5. **Электроника:** Учебное пособие для вузов / А.А. Щука; ред. А.С. Сигов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 799 с. **(3)**

5.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

5.3.1. 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

5.3.2. 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. – 30 с. – [электронный ресурс]. – http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=238

6. 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. Конспектирование студентами лекционного материала обязательно.

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.

Согласована на портале № 6961