

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физические основы микро- и наносистемной техники

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:
Нанотехнология

Курс: 4, семестр : 7

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	7
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	81
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	18
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	16
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	7
10	Самостоятельная работа, час.	63
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ контр.
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №177 от 06.03.2015 г. , дата утверждения: 31.03.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, базовая

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

старший преподаватель, Лобач О. В.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ПК.1 способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологий и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий; в части следующих результатов обучения:	
з12. Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	
з19. Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	
у1. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	
у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	
Компетенция ФГОС: ПК.2 готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:	
з1. Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	
Компетенция ФГОС: ПК.5 готовность рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:	
у14. Уметь рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Физические основы микро- и наносистемной техники</i>	
ПК.1.з12 Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	
1.Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы
ПК.1.з19 Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	
2.Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у1 Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	
3.Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у5 Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	
4.Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.з1 Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	
5.Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.5.у14 Уметь рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники	

6. Уметь рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
---	---

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 7				
Дидактическая единица: Физические основы работы механических сенсоров				
1. Физические причины большого тензорезистивного эффекта в п- и р-кремнии.	1	2	1, 2, 5	Изучение физических причин большого тензорезистивного эффекта в п- и р-кремнии.
2. Факторы, влияющие на тензорезистивный эффект в п-и р-кремнии. Карбид кремния. Как перспективный материал для высокотемпературных механических сенсоров.	1	2	1, 2, 5	Изучение факторов, влияющих на тензорезистивный эффект в п-и р-кремнии. Карбид кремния, как перспективный материал для высокотемпературных механических сенсоров.
3. Особенности тензорезистивного эффекта в кремниевых нанотензорезисторах.	1	2	1, 2, 4, 5, 6	Изучение особенностей тензорезистивного эффекта в кремниевых нанотензорезисторах.
4. Структуры с диэлектрической изоляцией для кремниевых МЭМС.	1	2	1, 2, 4, 5	Изучение структур с диэлектрической изоляцией для кремниевых МЭМС.
Дидактическая единица: Физические основы работы оптических, магнитных и пирозлектрических сенсоров.				
5. Оптические сенсоры. Классификация. Энергетические и фотометрические единицы. Основные физические эффекты в оптических сенсорах.	1	2	1, 2, 5	Изучение принципов работы оптических сенсоров. Классификация. Энергетические и фотометрические единицы. Основные физические эффекты в оптических сенсорах.
6. Внутренний фотоэффект с учетом поверхностной рекомбинации.	1	2	1, 2, 3, 4, 5	Изучение внутреннего фотоэффекта с учетом поверхностной рекомбинации.
7. Фотовольтаический эффект в р-п переходах. Солнечная энергетика.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Изучение фотовольтаического эффекта в р-п переходах. Солнечная энергетика.
8. Шумы в фотоприемниках. Обнаружительная способность. Боллометры. Боллометры на фазовом переходе.	1	2	1, 2, 4, 5	Изучение принципа действия боллометра. Шумы в фотоприемниках. Обнаружительная способность. Боллометры на фазовом переходе.
9. Основные уравнения магнитного поля. Граничные условия для векторов поля. Эффекты сверхпроводимости и Мейсснера.	1	2	1, 2, 5	Изучение основных уравнений магнитного поля. Граничные условия для векторов поля. Эффекты сверхпроводимости и Мейсснера.

10. Сверхпроводящий квантовый интерферометр.	1	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	Изучение принципа действия сверхпроводящего квантового интерферометра.
11. Квантовый эффект Холла.	1	2	1, 2, 5, 6	Изучение квантового эффекта Холла.
12. Ферромагнетизм и его применение в микросистемной технике. Магнетосопротивление в ферромагнитных пленках.	1	2	1, 2, 3, 5	Изучение эффекта ферромагнетизма и его применения в микросистемной технике. Магнитосопротивление в ферромагнитных пленках.
13. Гигантское магнетосопротивление в ферромагнитных сверхрешетках. Спиновые клапаны. Спиновые вентили.	1	2	1, 2, 5, 6	Изучение эффекта гигантского магнетосопротивления в ферромагнитных сверхрешетках. Спиновые клапаны. Спиновые вентили.
14. Пироэлектричество. Пироэлектрические сенсоры: конструкции, материалы, характеристики.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Пироэлектрический эффект. Пироэлектрические сенсоры: конструкции, материалы, характеристики.
Дидактическая единица: Физические основы работы химических и биологических сенсоров.				
15. Биологические сенсоры. Особенности структуры биологических сенсоров. Методы иммобилизации. Характеристики биологических сенсоров.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Изучение биологических сенсоров и их характеристик. Особенности структуры биологических сенсоров. Методы иммобилизации.
16. Применение полевых транзисторов для построения биологических сенсоров.	0	2	1, 2, 5	Изучение применения полевых транзисторов для построения биологических сенсоров.
17. Электрохимические сенсоры. Принцип действия. Уравнение Нернста. Конструкции и практическое применение электрохимических сенсоров.	1	2	1, 2, 5	Изучение принципа действия электрохимических сенсоров, их конструкции и практического применения. Уравнение Нернста.
Дидактическая единица: Тенденции развития микросистемной техники и рынка микросистем.				
18. Заключительная лекция. Тенденции развития микросистемной техники и рынка микросистем.	0	2	1, 2, 5	Обсуждение тенденций развития микросистемной техники и рынка микросистем.

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 7				
Дидактическая единица: Физические основы работы механических сенсоров				
1. Эффект пьезосопротивления в кремнии и германии.	0	4	3, 4, 5	Изучение эффектов пьезосопротивления в кремнии и германии.
Дидактическая единица: Физические основы работы оптических, магнитных и пироэлектрических сенсоров.				
2. Исследование характеристик фотодиода.	0	4	3, 4, 5	Фотоэффект. Изучение метрологических характеристик фотодиода.

3. Исследование характеристик Холловского сенсора.	0	4	3, 4, 5	Эффект Холла. Изучение основных метрологических характеристик Холловского сенсора.
4. Исследования характеристик сенсора на эффекте ГМС.	0	4	3, 4, 5, 6	Эффект гигантского магнитосопротивления. Изучение метрологических характеристик сенсора на эффекте ГМС.
Дидактическая единица: Тенденции развития микросистемной техники и рынка микросистем.				
5. Тенденции развития микросистем.	0	2	1, 2, 6	Сравнительный анализ основных направлений развития отечественных и зарубежных микросистем.

Таблица 3.3

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 7				
Дидактическая единица: Физические основы работы механических сенсоров				
1. Влияние деформаций на зонную структуру p-кремния.	0	2	1, 2, 3, 4, 5	Изучение влияния деформаций на зонную структуру кремния.
2. Температурные и концентрационные зависимости пьезосопротивления кремния. Тестовая структура для контроля тензорезистивных слоев.	0	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	Изучение температурных и концентрационных зависимостей пьезосопротивления кремния, тестовых структур для контроля тензорезистивных слоев.
Дидактическая единица: Физические основы работы оптических, магнитных и пирозлектрических сенсоров.				
3. Законы излучения: Планка, Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Коэффициенты отражения и поглощения.	0	2	1, 2, 3, 4, 5	Изучение законов излучения: Планка, Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Расчет коэффициентов отражения и поглощения.
4. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время жизни.	0	2	1, 2, 3, 4, 5	Изучение процессов генерации и рекомбинации носителей заряда.
5. Фотовольтаический эффект в p-n переходе.	0	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	Изучение фотовольтаического эффекта в p-n переходе.
6. Закон полного тока и его применение. Магнитное поле в веществе. Диа- пара- и ферромагнетики.	0	2	1, 2, 3, 4, 5	Изучение и применение в расчетах закона полного тока. Расчет магнитного поля в веществе. Диа- пара- и ферромагнетизм.
7. Уравнение теплопроводности. Расчет температурного поля сенсоров.	0	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	Применение уравнения теплопроводности к расчету температурного поля сенсоров.
Дидактическая единица: Физические основы работы химических и биологических сенсоров.				
8. Биологические сенсоры. Закон Нернста.	0	2	1, 2, 3, 4, 5	Изучение биологических сенсоров. Применение закона Нернста для их расчетов.
Дидактическая единица: Тенденции развития микросистемной техники и рынка микросистем.				

9. Заключительное занятие.	0	2	1, 2, 5	Прием расчетно-графических работ.
----------------------------	---	---	---------	-----------------------------------

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 7				
1	Контрольные работы	2, 4, 6	5	0
Контрольная работа №1. Тема: "Энергетические и фотометрические единицы излучения" Пример контрольного задания. Поток излучения в диапазоне длин волн 500 - 510 нм составляет 0.1 Вт. Чему будет равен поток излучения в фотометрических единицах? Контрольная работа №2. Тема: "Магнитное поле". Пример контрольного задания. Определить магнитное поле В и Н в соленоиде диаметром 1 см и длиной 5 см, в котором витки провода намотаны в один слой плотным образом, и по которым течет ток величиной 1 А. Плотность витков: 3 витка на миллиметр. : Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил.				
2	РГЗ	2, 4	40	3
В ходе изучения дисциплины студенты выполняют расчетно-графическую работу по теме "Расчет фотоэлектронного полупроводникового преобразователя на эффекте фотопроводимости". Точечный излучатель, с коэффициентом серости 0.9 находится на расстоянии L метров от фотоприёмника. Фильтр, установленный на фотоприемнике, пропускает излучение с энергией $E_0 \pm 5\%$. Материал фотоприемника - однородно легированный кремний без просветляющего покрытия. Фотоприёмник имеет прямоугольную форму и работает на эффекте фотопроводимости. Площадка фотоприемника ориентирована по нормали к падающему излучению. Фотоприемник соединен по стандартной схеме, с сопротивлением нагрузки R_p и источником ЭДС E. В процессе выполнения расчетно-графической работы студенту необходимо: 1. Провести расчет энергии излучателя. 2. Определить величины темнового и светового сопротивления фотопроводника. 3. Определить выходной сигнал фотосенсора при стандартном включении фоторезистора. Пример варианта исходных данных к расчетно-графической работе.: Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил.				
3	Подготовка к занятиям	2, 3, 4	0	0
: Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил.				
4	Дополнительная учебная деятельность	2, 3	0	0
: Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил.				
5	Подготовка к аттестации	3, 4, 5, 6	18	4

: Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил.

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail; Социальные сети
Консультирование	e-mail; Личный типовой сайт; Чат
Контроль	Портал НГТУ
Размещение учебных материалов	ЭБС

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 7		
<i>Лабораторная:</i>	15	20
Контролирующие материалы приводятся в "Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил."		
<i>Практические занятия:</i>	14	20
Контролирующие материалы приводятся в "Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил."		
<i>Контрольные работы:</i>	5	10
Контролирующие материалы приводятся в "Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил."		
<i>РГЗ:</i>	5	10
Контролирующие материалы приводятся в "Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил."		
<i>Экзамен:</i>	11	40
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил."		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля			
		Защита ЛР	Контр. раб.	Защита РГЗ	Экзамен
ПК.1	312. Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	+	+	+	+
	319. Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	+	+	+	+

	у1. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	+	+	+	+
	у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	+	+	+	+
ПК.2	з1. Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	+	+	+	+
ПК.5	у14. Уметь рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники		+	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Эггинс Б. Р. Химические и биологические сенсоры : [учебное пособие] / Б. Эггинс ; пер. с англ. М. А. Слинкина с доп. Т. М. Зиминой, В. В. Лучинина. - М., 2005. - 335 с. : ил.
2. Фрайден Д. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден ; пер. с англ. Ю. А. Заболотной ; под ред. Е. Л. Свинцова. - М., 2006. - 588 с. : ил.
3. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 1 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, В. П. Драгунов ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2004. - 415 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000031699
4. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, И. Г. Неизвестный, В. Н. Шумский ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2006. - 495 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000066370

Дополнительная литература

1. Варадан В. ВЧ МЭМС и их применение / В. Варадан, К. Виной, К. Джозе ; пер. с англ. под ред. Ю. А. Заболотной. - М., 2004. - 525 с. : ил., табл., цв. ил.
2. Алейников А. Ф. Датчики (перспективные направления развития) : учебное пособие / А. Ф. Алейников, В. А. Гридчин, М. П. Цапенко ; под ред. М. П. Цапенко ; Новосиб. гос. техн. ун-т и др. - Новосибирск, 2003. - 285 с. : ил.
3. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2 кн.. Кн. 1 / Ж. Аш ; пер. с фр. А. С. Обухова. - М., 1992. - 480 с. : ил.
4. Ваганов В. И. Интегральные тензопреобразователи / В. И. Ваганов. - М., 1983. - 137 с. : ил.
5. Хомерики О. К. Полупроводниковые преобразователи магнитного поля / О. К. Хомерики. - М., 1986. - 135, [1] с. : ил.
6. Проектирование датчиков для измерения механических величин / [Е. П. Осадчий и др.] ; под ред. Е. П. Осадчего. - М., 1979. - 479, [1] с. : ил., табл.
7. Эрлер В. Электрические измерения неэлектрических величин полупроводниковыми тензорезисторами : [монография] ; пер. с нем. / В. Эрлер, Л. Вальтер ; под ред. Я. В. Малкова. - М., 1974. - 285 с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>

5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Физика твердого тела и полупроводников : методические указания к лабораторной работе № 3 для 3 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров]. - Новосибирск, 2012. - 20, [1] с. : ил.

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 Microsoft Office

2 Microsoft Windows

9. Материально-техническое обеспечение

Специальное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Комплект мультимедийного оборудования	Используется в учебном процессе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ” _____ _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы микро- и наносистемной техники

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:
Нанотехнология

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине **Физические основы микро- и наносистемной техники** приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.1/НИ способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	з12. Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	Биологические сенсоры. Закон Нернста. Влияние деформаций на зонную структуру n-кремния. Внутренний фотоэффект с учетом поверхностной рекомбинации. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время жизни. Закон полного тока и его применение. Магнитное поле в веществе. Диа- пара- и ферромагнетики. Законы излучения: Планка, Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Коэффициенты отражения и поглощения. Оптические сенсоры. Классификация. Энергетические и фотометрические единицы. Основные физические эффекты в оптических сенсорах. Основные уравнения магнитного поля. Граничные условия для векторов поля. Эффекты сверхпроводимости и Мейсснера. Особенности тензорезистивного эффекта в кремниевых нанотензорезисторах. Структуры с диэлектрической изоляцией для кремниевых МЭМС. Температурные и концентрационные зависимости пьезосопротивления кремния. Тестовая структура для контроля тензорезистивных слоев. Тенденции развития микросистем. Уравнение теплопроводности. Расчет температурного поля сенсоров. Факторы, влияющие на тензорезистивный эффект в n-и p-кремнии. Карбид кремния. Как перспективный материал для высокотемпературных механических сенсоров. Физические причины большого тензорезистивного	Контрольные работы, отчет по лабораторной работе, РГЗ.	Экзамен, вопросы 1-45

		эффекта в п- и р-кремнии. Фотовольтаический эффект в р-п переходах. Солнечная энергетика. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Шумы в фотоприемниках. Обнаружительная способность. Болометры. Болометры на фазовом переходе.		
ПК.1/НИ	з19. Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	Биологические сенсоры. Закон Нернста. Влияние деформаций на зонную структуру п-кремния. Внутренний фотоэффект с учетом поверхностной рекомбинации. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время жизни. Закон полного тока и его применение. Магнитное поле в веществе. Диа- пара- и ферромагнетики. Законы излучения: Планка, Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Коэффициенты отражения и поглощения. Оптические сенсоры. Классификация. Энергетические и фотометрические единицы. Основные физические эффекты в оптических сенсорах. Основные уравнения магнитного поля. Граничные условия для векторов поля. Эффекты сверхпроводимости и Мейсснера. Особенности тензорезистивного эффекта в кремниевых нанотензорезисторах. Структуры с диэлектрической изоляцией для кремниевых МЭМС. Температурные и концентрационные зависимости пьезосопротивления кремния. Тестовая структура для контроля тензорезистивных слоев. Тенденции развития микросистем. Уравнение теплопроводности. Расчет температурного поля сенсоров. Факторы, влияющие на тензорезистивный эффект в п-и р-кремнии. Карбид кремния. Как перспективный материал для высокотемпературных механических сенсоров. Физические причины большого тензорезистивного эффекта в п- и р-кремнии. Фотовольтаический эффект в р-п переходах. Солнечная энергетика.	Контрольные работы, отчет по лабораторной работе, РГЗ.	Экзамен, вопросы 1-12, 23-42

		Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Шумы в фотоприемниках. Обнаружительная способность. Болотметры. Болотметры на фазовом переходе.		
ПК.1/НИ	у1. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	Биологические сенсоры. Закон Нернста. Влияние деформаций на зонную структуру п-кремния. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время жизни. Закон полного тока и его применение. Магнитное поле в веществе. Диа- пара- и ферромагнетики. Законы излучения: Планка, Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Коэффициенты отражения и поглощения. Исследование характеристик фотодиода. Исследование характеристик Холловского сенсора. Исследования характеристик сенсора на эффекте ГМС. Температурные и концентрационные зависимости пьезосопротивления кремния. Тестовая структура для контроля тензорезистивных слоев. Уравнение теплопроводности. Расчет температурного поля сенсоров. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Эффект пьезосопротивления в кремнии и германии.	Контрольные работы, отчет по лабораторной работе, РГЗ.	Экзамен, вопросы 1-23
ПК.1/НИ	у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	Биологические сенсоры. Закон Нернста. Влияние деформаций на зонную структуру п-кремния. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время жизни. Закон полного тока и его применение. Магнитное поле в веществе. Диа- пара- и ферромагнетики. Законы излучения: Планка, Стефана-Больцмана, Вина, Бугера-Ламберта. Коэффициенты отражения и поглощения. Исследование характеристик фотодиода. Исследование характеристик Холловского сенсора. Исследования характеристик сенсора на эффекте ГМС. Температурные и концентрационные зависимости пьезосопротивления кремния. Тестовая структура для контроля тензорезистивных слоев. Уравнение теплопроводности. Расчет температурного поля сенсоров. Фотовольтаический	Контрольные работы, отчет по лабораторной работе, РГЗ.	Экзамен, вопросы 12-23, 27-30

		эффект в р-п переходе. Эффект пьезосопротивления в кремнии и германии.		
ПК.2/НИ готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	з1. Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	Влияние деформаций на зонную структуру п-кремния. Внутренний фотоэффект с учетом поверхностной рекомбинации. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время жизни. Закон полного тока и его применение. Магнитное поле в веществе. Диа- пара- и ферромагнетики. Законы излучения: Планка, Стефана- Больцмана, Вина, Бугера- Ламберта. Коэффициенты отражения и поглощения. Исследование характеристик фотодиода. Исследование характеристик Холловского сенсора. Исследования характеристик сенсора на эффекте ГМС. Оптические сенсоры. Классификация. Энергетические и фотометрические единицы. Основные физические эффекты в оптических сенсорах. Особенности тензорезистивного эффекта в кремниевых нанотензорезисторах. Структуры с диэлектрической изоляцией для кремниевых МЭМС. Температурные и концентрационные зависимости пьезосопротивления кремния. Тестовая структура для контроля тензорезистивных слоев. Уравнение теплопроводности. Расчет температурного поля сенсоров. Факторы, влияющие на тензорезистивный эффект в п-и р-кремнии. Карбид кремния. Как перспективный материал для высокотемпературных механических сенсоров. Физические причины большого тензорезистивного эффекта в п- и р-кремнии. Фотовольтаический эффект в р-п переходах. Солнечная энергетика. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Эффект пьезосопротивления в кремнии и германии.	Контрольные работы, отчет по лабораторной работе, РГЗ.	Экзамен, вопросы 2-10
ПК.5/ПК готовность рассчитывать и проектировать компоненты нано-	у14. Уметь рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной	Исследования характеристик сенсора на эффекте ГМС. Сверхпроводящий квантовый интерферометр. Температурные и	Контрольные работы, отчет по лабораторной работе, РГЗ.	Экзамен, вопросы 1-14, 20,41- 45

и микросистемной техники	техники	концентрационные зависимости пьезосопротивления кремния. Тестовая структура для контроля тензорезистивных слоев. Тенденции развития микросистем. Уравнение теплопроводности. Расчет температурного поля сенсоров. Фотовольтаический эффект в р-п переходах. Солнечная энергетика. Фотовольтаический эффект в р-п переходе.		
--------------------------	---------	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 7 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.2/НИ, ПК.5/ПК.

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет состоит из двух вопросов. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 7 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ(Р), контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р), контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.2/НИ, ПК.5/ПК, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники», 7 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-24, второй вопрос из диапазона вопросов 25-49 (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники»

1. Шкала электромагнитных волн.
2. Цветовое зрение. Цветовое пространство. Цветовой треугольник.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет *0-10 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет *11-20 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при

ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет 21-30 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 31 – 40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники»

1. Шкала электромагнитных волн.
2. Внешний фотоэффект. Законы фотоэффекта.
3. Внутренний фотоэффект. Законы фотоэффекта.
4. Фотоэлектромагнитные эффекты (Дембера, ФМ, ФП, фотоэффект на p-n переходе).
5. ВАХ p-n переходе при освещении.
6. Общая структура оптического сенсора.
7. Параметры шума. Порог чувствительности.
8. Характеристики оптических сенсоров.
9. Физические механизмы возникновения шумов в полупроводниках.
10. Энергетические характеристики излучения.
11. Фотометрические характеристики излучения.
12. Типы рекомбинации. Время жизни.
13. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация Оже. Рекомбинация через ловушки.
14. Диффузионные и дрейфовые токи.
15. Уравнение непрерывности для полупроводников.
16. Уравнение Пуассона для ОПЗ и методы его решения.
17. Поверхностные состояния. Скорость поверхностной рекомбинации.
18. Диффузия и дрейф в случае монополярной генерации.
19. Монополярная генерация с учетом поверхностной рекомбинации.
20. Генерация и рекомбинация носителей заряда.
21. Уравнение непрерывности для биполярной генерации. Решение уравнения для случая малого возбуждения.
22. Уравнение непрерывности для биполярной генерации. Решение уравнения для случая большого уровня возбуждения.
23. Максвелловское время релаксации.
24. Биполярная генерация в примесном полупроводнике.
25. Цветовое зрение. Цветовое пространство. Цветовой треугольник.
26. Сенсоры радиоактивного излучения.
27. α , β , γ нейтронное излучение.
28. Единицы дозиметрии излучения.
29. Детекторы на основе ионизации газов. Счетчики Гейгера-Мюллера.
30. Твердотельные детекторы.
31. Характеристики магнитного поля. Законы Ампера и Био-Савара- Лапласа

32. Уравнение Максвелла для постоянного магнитного поля. Граничные условия для векторов поля.
33. Расчет магнитного поля прямого провода (закон полного тока).
34. Расчет магнитного поля соленоида (закон полного тока).
35. Вектор-потенциал. Уравнение на вектор-потенциал, граничные условия.
36. Причины возникновения ферромагнетизма.
37. Эффект гигантского магнитосопротивления в ферромагнитных сверхрешетках.
38. Сверхпроводящие сенсоры магнитного потока в технике.
39. Принцип действия СКВИД.
40. Спиновые вентили и их применение.
41. Химические и биологические сенсоры. Классификация, структура, применение.
42. Характеристики химических сенсоров.
43. Каталитические химические сенсоры. Принцип действия, конструкция, схема включения.
44. Сенсоры влажности. Единицы измерения. Конструкции сенсоров, характеристики.
45. Биосенсоры. Способы иммобилизации. Сенсор определения сахара в крови.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники», 7 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам «Энергетические и фотометрические единицы излучения» и «Магнитное поле», включает 1 задачу. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если задача решена не верно или не была решена. Оценка составляет **0-4** баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если задача решена не верно, но показан верный ход решения и записаны основные формулы. Оценка составляет **5-6** баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если задача решена, но есть неточности в расчете, не показан ход решения, или дан не верный числовой ответ. Оценка составляет **7-8** баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если задача полностью решена, подробно описан ход решения, ответ дан в виде общей формулы и числового значения с указанием единиц измерения. Оценка составляет **9-10** баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

Тема: «Энергетические и фотометрические единицы излучения»

Вариант 1

Задание:

Поток излучения в диапазоне длин волн 500 – 510 нм составляет 0.1 Вт. Чему будет равен поток излучения в фотометрических единицах?

Тема: «Магнитное поле»

Вариант 1

Задание:

Определить магнитное поле B и H в соленоиде диаметром 1 см и длиной 5 см, в котором витки провода намотаны в один слой плотным образом, и по которым течет ток величиной 1 А.

Плотность витков: 3 витка на миллиметр.

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники», 7 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны рассчитать параметры излучателя и фотосенсора.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны:

1. Провести расчет энергии излучателя.
2. Определить величины темнового и светового сопротивления фотопроводника.
3. Рассчитать преобразовательную характеристику фотосенсора при стандартном включении фоторезистора.

Обязательные структурные части РГЗ.

1. Титульный лист
2. Тест задания
3. Расчет энергии излучателя.
4. Расчет величины темнового и светового сопротивления фотопроводника.
5. Расчет преобразовательной характеристики фотосенсора при стандартном включении фоторезистора.
6. График преобразовательной характеристики.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, аппаратные средства не выбраны или не соответствуют современным требованиям, оценка составляет 0-4 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, аппаратные средства не соответствуют современным требованиям, оценка составляет 5-6 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны, но не оптимизированы, аппаратные средства выбраны без достаточного обоснования, оценка составляет 7-8 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны и оптимизированы, выбор аппаратных средств обоснован, оценка составляет 9-10 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

Задание: Точечный излучатель, с коэффициентом серости 0.9 находится на расстоянии L метров от фотоприёмника. Фильтр, установленный на фотоприёмнике, пропускает излучение с энергией $E_0 \pm 5\%$. Материал фотоприемника – однородно

легированный кремний без просветляющего покрытия. Фотоприёмник имеет прямоугольную форму и работает на эффекте фотопроводимости. Площадка фотоприемника ориентирована по нормали к падающему излучению. Фотоприемник соединен по стандартной схеме, с сопротивлением нагрузки R_p и источником ЭДС E .

Пример варианта исходных данных к расчетно-графической работе.

1. Температура излучателя, T , К 1300
2. Энергия квантов излучения после фильтра, E_0 , эВ 1,2
3. Габаритные размеры, мм 2×3
4. Материал КЭФ-20
5. Рабочая температура ФЭПП, К 300
6. ЭДС питания, В 10
7. Скорость поверхностной рекомбинации, см/с 500
8. Легирующая примесь считается полностью ионизованной
9. Нагрузочное сопротивление выбирается из условия максимума полезного сигнала