

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
Сенсорные микросистемы

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

Курс: 3, семестр : 6

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	6
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	5
2	Всего часов	180
3	Всего занятий в контактной форме, час.	84
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	18
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	10
10	Самостоятельная работа, час.	96
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	КР 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, вариативная, по выбору студента

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:

доцент, к.т.н. Гридчин А. 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 микро- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий; в части следующих результатов обучения:
з3. Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении, технологию их изготовления
з7. Знать современные области применения микро- и нанoeлектронных датчиков в электронных приборах и устройствах, тенденции и перспективы их развития
у1. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов микро- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики
у4. Владеть методами расчета, моделирования и проектирования датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении
у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники
у9. Уметь производить обоснованный выбор датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
---	---------------------------

Сенсорные микросистемы

ПК.1.з3 Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении, технологию их изготовления	
1.Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении, технологию их изготовления	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.з7 Знать современные области применения микро- и нанoeлектронных датчиков в электронных приборах и устройствах, тенденции и перспективы их развития	
2.Знать современные области применения микро- и нанoeлектронных датчиков в электронных приборах и устройствах, тенденции и перспективы их развития	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у1 Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов микро- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	
3.Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов микро- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у4 Владеть методами расчета, моделирования и проектирования датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	
4.Владеть методами расчета, моделирования и проектирования датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у5 Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	
5.Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у9 Уметь производить обоснованный выбор датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	
6.Уметь производить обоснованный выбор датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 6				
Дидактическая единица: Вводная часть				
1. Вводная лекция	0	4	2, 3, 5, 6	1. Введение. Структура измерительной системы. Сенсоры .сигнальные процессоры,актюаторы. Классификация сенсоров. Интеллектуальные сенсоры.2.Техника измерений для интеллектуальных сенсоров.Чувствительные элементы и паразитные эффекты.3.Аналого-цифровые преобразования.Систематические, случайные,многоканальные ошибки. Автокалибровка
Дидактическая единица: Физические принципы работы и конструктивно-технологические особенности сенсоров механических величин				
2. Сенсоры механических величин	0	4	2, 3, 4, 6	Сенсоры на тензорезистивном эффекте. Металлические тензорезисторы. Принцип действия.,основные хаоарактеристики, типичные конструкции.Применение.
3. Тензорезистивный эффект в кремнии	0	4	1, 3, 5	Феноменологическое описание эффекта. Матрица пьезосопротивления для кубических кристаллов. Компоненты матрицы пьезосопротивления для кремния.
4. Упругие элементы и их нагружение	0	4	1, 2, 3, 4, 5, 6	Основные типы упругих элементов. Распределение напряжений и деформаций в круглых и квадратных элементах
Дидактическая единица: Физические принципы работы и построение сенсоров магнитных , термических ,радиационных и химических сигналов				
5. Сенсоры термического сигнала	0	4	3, 5, 6	Сенсоры тенмического сигнала.Температура. Температурные шкалы. Теплопроводность,конвекция, излучение.Термочувствительны е элементы. Терморезисторы, термопары. Примеры реализации термических сенсоров

6. Магнитные сенсоры	0	4	2, 4, 6	Магнитные сенсоры .Области применения .Эффект холла, эффект магнетосопротивления в полупроводниках. Конструкции, материалы, характеристики.
7. Сенсоры излучения	2	4	2, 4, 6	Сенсоры излучения .Классификация сенсоров.Сенсоры оптического и ИК излучения.Физические принципы работы
8. Детекторы ядерного излучения	0	4	2, 4, 6	Детекторы ядерного излучения. Физические причины радиоактивного излучения. Единицы дозиметрии. Счетчик Гейгера -Мюллера. Ядерные детекторы на основе ди-диоксида ртути и кремния
9. Химические сенсоры	0	4	2, 4, 6	Химические сенсоры. Принцип работы. Хеморезисторы и хемоконденсаторы. Сенсоры влажности . Единицы измерения .МЭМС сенсоры влажности.

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 6				
Дидактическая единица: Физические принципы работы и построение сенсоров магнитных , термических ,радиационных и химических сигналов				
1. Термические сенсоры	0	4	3, 4, 5	Экспериментальное изучение принципов работы, конструктивных особенностей и основных метрологических характеристик термических сенсоров ведущих мировых производителей.
2. Магниторезистивные сенсоры	0	4	2, 4, 6	Экспериментальное изучение принципов работы , конструктивных особенностей и основных метрологических характеристик магниторезистивных сенсоров ведущих мировых производителей.
3. Катушки Гельмгольца	0	4	1, 2, 3	Экспериментальное изучение топологии магнитного поля колец Гельмгольца с помощью магниторезистивного сенсора
Дидактическая единица: Физические принципы работы и конструктивно-технологические особенности сенсоров механических величин				

4. Тензорезистивные сенсоры давления	0	4	1, 2, 4	Экспериментальное изучение принципов работы, конструктивных особенностей и основных метрологических характеристик сенсоров давления ведущих мировых производителей
Дидактическая единица: Тенденции развития микросистемной техники				
5. Сравнительный анализ сенсоров физических величин	0	2	3, 4, 6	Сравнительный анализ сенсоров физических величин по выбору преподавателя и предоставление результатов сравнения в виде отчета

Таблица 3.3

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 6				
Дидактическая единица: Физические принципы работы и конструктивно-технологические особенности сенсоров механических величин				
1. Сдвиговый тензорезистивный эффект	2	2	2, 3, 4	Сдвиговый тензорезистивный эффект и приборы на его основе. Расчет преобразователей на сдвиговом тензорезистивном эффекте
2. Расчет механических напряжений и деформаций	2	2	3, 4, 6	Анализ механических напряжений и деформаций в упругом элементе методом Галеркина -Ритца
3. Топология сенсоров давления	2	2	3, 5	Рассмотрение топологии сенсоров давления и путей ее оптимизации. Выдача курсовой работы
4. Емкостные сенсоры и акселерометры.	2	2	4, 5, 6	Емкостной принцип преобразования. Преобразовательная характеристика емкостного сенсора давления с круглым упругим элементом. Особенности конструкции емкостных сенсоров. Применение LOCOS технологии для емкостных сенсоров. Акселерометры.
6. Пьезоэлектрические сенсоры	0	2	4, 5	Пьезоэлектрические сенсоры. Математическое описание пьезоэлектрического эффекта. Примеры конструкции пьезоэлектрических сенсоров. Особенности характеристик
Дидактическая единица: Физические принципы работы и построение сенсоров магнитных , термических ,радиационных и химических сигналов				

7. Метрологические характеристики сенсоров давления	2	2	2, 6	Электрические схемы тензорезистивных сенсоров давления. Метрологические характеристики сенсоров давления. Чувствительность, начальный разбаланс, нелинейность, гистерезис
8. Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов	2	2	1, 2, 6	рассмотрение основных принципов работы и конструктивных особенностей термических сенсоров, использующих термисторы и тензорезисторы
9. Холловские и магниторезистивные сенсоры	2	2	4, 6	Анализ принципов работы конструктивных особенностей и основных характеристик Холловских и магниторезистивных сенсоров
11. Сенсоры оптического излучения	2	2	5, 6	Сенсоры оптического излучения на основе фотопроводимости, основные уравнения, схемы включения, характеристики. Особенности конструкции
Дидактическая единица: тенденции развития мст				
12.	0	0	3	

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 6				
1	Контрольные работы	2, 5	6	3
: Драгунов В. П. Микро- и наноэлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042				
2	Курсовая работа	2	24	4
Провести расчет распределения механических напряжений и деформаций упругими элементами различной формы: Драгунов В. П. Микро- и наноэлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042				
3	Подготовка к занятиям	1, 3	17	0
: Драгунов В. П. Микро- и наноэлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042				
4	Дополнительная учебная деятельность	1, 3	33	0
: Драгунов В. П. Микро- и наноэлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042				
5	Дополнительная учебная деятельность	1, 3, 4	0	3

: Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042				
6	Подготовка к аттестации	1, 3	16	0
: Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042				

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
Консультирование	e-mail
Контроль	e-mail; ЭБС
Размещение учебных материалов	e-mail

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: 6		
<i>Подготовка к занятиям:</i>	0	
<i>Дополнительная учебная деятельность:</i>	0	
<i>Лабораторная:</i>	10	20
<i>Практические занятия:</i>	5	10
<i>Контрольные работы:</i>	15	30
Контролирующие материалы приводятся в "Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042 "		
<i>Курсовая работа:</i>	50	100 (в состав баллов за КР)
Контролирующие материалы приводятся в "Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042 "		
<i>Экзамен:</i>	20	40
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Компоненты и технологии микро- и наносистемной техники : методическое руководство к лабораторным работам № 1-4 для АВТФ по специальностям 200100 - Приборостроение и 200300 - Биомедицинская инженерия, РФЭ по специальности 550700 - Электроника и микроэлектроника / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. В. Гридчин, В. А. Гридчин]. - Новосибирск, 2007. - 58, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/2007_3435.pdf . - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".		

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 Л/Р	Контр. раб.	Защита КП/КР	Экзамен
ПК.1	з3. Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении, технологию их изготовления	+	+	+	+
	з7. Знать современные области применения микро- и нанoeлектронных датчиков в электронных приборах и устройствах, тенденции и перспективы их развития	+			+
	у1. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	+			+
	у4. Владеть методами расчета, моделирования и проектирования датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	+	+		+
	у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	+		+	+
	у9. Уметь производить обоснованный выбор датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	+		+	+

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

7. Литература

Основная литература

1. Vives A. A. Piezoelectric Transducers and Applications [electronic resource] // edited by Antonio Arnau Vives. - Berlin, Heidelberg : , 2008. : v.: digital // Springer eBooks. - Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-77508-9>
2. 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://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2004/04_gridchin.pdf
3. Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника : [учебное пособие] / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2012. - 35, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000176176
4. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, И. Г. Неизвестный, В. Н. Шумский. - Новосибирск, 2006. - 495 с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2006/gridchin.pdf>

Дополнительная литература

1. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2 кн.. Кн. 1 / Ж. Аш ; пер. с фр. А. С. Обухова. - М., 1992. - 480 с. : ил.
2. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2 кн.. Кн. 2 / Ж. Аш ; пер. с фр. А. С. Обухова. - М., 1992. - 419 с. : ил.
3. Алейников А. Ф. Датчики (перспективные направления развития) : Учеб. пособие / Новосиб. гос. техн. ун-т; А. Ф. Алейников, В. А. Гридчин, М. П. Цапенко; Под ред. М. П. Цапенко. - Новосибирск, 2001. - 176 с. : ил.
4. Хомерики О. К. Полупроводниковые преобразователи магнитного поля / О. К. Хомерики. - М., 1986. - 135, [1] 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 "Znaniium.com" : <http://znaniium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042
2. Компоненты и технологии микро- и наносистемной техники : методическое руководство к лабораторным работам № 1-4 для АВТФ по специальностям 200100 - Приборостроение и 200300 - Биомедицинская инженерия, РЭФ по специальности 550700 - Электроника и микроэлектроника / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. В. Гридчин, В. А. Гридчин]. - Новосибирск, 2007. - 58, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2007/2007_3435.pdf. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Специальное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Комплект мультимедийного оборудования	Используется для проведения презентаций
2	Компьютер Intel Celeron 430	Используется для выполнения измерений

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. Хрусталев
“ ” _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Сенсорные микросистемы

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 Сенсорные микросистемы 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	з3. Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и наноэлектронном исполнении, технологию их изготовления	Катушки Гельмгольца Тензорезистивные сенсоры давления Тензорезистивный эффект в кремнии Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов Упругие элементы и их нагружение	Контрольная работа, задачи 1 – 7. Курсовая работа, разделы 1 – 7. Отчет по лабораторной работе, разделы 1 – 3.	Экзамен, вопросы 1 – 30.
ПК.1/НИ	з7. Знать современные области применения микро- и наноэлектронных датчиков в электронных приборах и устройствах, тенденции и перспективы их развития	Магнитные сенсоры Вводная лекция Детекторы ядерного излучения Катушки Гельмгольца Магниторезистивные сенсоры Метрологические характеристики сенсоров давления Сдвиговый тензорезистивный эффект Сенсоры излучения Сенсоры механических величин Тензорезистивные сенсоры давления Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов Упругие элементы и их нагружение Химические сенсоры	Отчет по лабораторной работе, разделы 1 – 3.	Экзамен, вопросы 1 – 30.
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	Сравнительный анализ сенсоров физических величин Вводная лекция Катушки Гельмгольца Расчет механических напряжений и деформаций Сдвиговый тензорезистивный эффект Сенсоры механических величин Сенсоры термического сигнала Тензорезистивный эффект в кремнии Термические сенсоры Топология сенсоров давления Упругие элементы и их нагружение	Отчет по лабораторной работе, разделы 1 – 3.	Экзамен, вопросы 1 – 30.
ПК.1/НИ	у4. Владеть методами расчета, моделирования и проектирования датчиков физических	Магнитные сенсоры Сравнительный анализ сенсоров физических величин Детекторы ядерного излучения Емкостные сенсоры и акселерометры.	Контрольная работа, задачи 1 – 7. Отчет по лабораторной работе, разделы 1 – 3.	Экзамен, вопросы 1 – 30.

	измерений в микро- и наноэлектронном исполнении	Магниторезистивные сенсоры Пьезоэлектрические сенсоры Расчет механических напряжений и деформаций Сдвиговый тензорезистивный эффект Сенсоры излучения Сенсоры механических величин Тензорезистивные сенсоры давления Термические сенсоры Упругие элементы и их нагружение Химические сенсоры Холловские и магниторезистивные сенсоры		
ПК.1/НИ	у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	Вводная лекция Емкостные сенсоры и акселерометры. Пьезоэлектрические сенсоры Сенсоры оптического излучения Сенсоры термического сигнала Тензорезистивный эффект в кремнии Термические сенсоры Топология сенсоров давления Упругие элементы и их нагружение	Курсовая работа, разделы 1 – 7. Отчет по лабораторной работе, разделы 1 – 3.	Экзамен, вопросы 1 – 30.
ПК.1/НИ	у9. Уметь производить обоснованный выбор датчиков физических измерений в микро- и наноэлектронном исполнении	Магнитные сенсоры Сравнительный анализ сенсоров физических величин Вводная лекция Детекторы ядерного излучения Емкостные сенсоры и акселерометры. Магниторезистивные сенсоры Метрологические характеристики сенсоров давления Расчет механических напряжений и деформаций Сенсоры излучения Сенсоры механических величин Сенсоры оптического излучения Сенсоры термического сигнала Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов Упругие элементы и их нагружение Химические сенсоры Холловские и магниторезистивные сенсоры	Курсовая работа, разделы 1 – 7. Отчет по лабораторной работе, разделы 1 – 3.	Экзамен, вопросы 1 – 30.

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1/НИ.

Форма проведения экзамена описана в паспорте экзамена, прилагаемом к рабочей программе.

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

В 6 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются контрольная работа, курсовая работа. Требования к выполнению контрольной работы, курсовой работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы, курсовой 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 компетенции ПК.1/НИ, 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.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Сенсорные микросистемы», 6 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1 – 13, второй вопрос из диапазона вопросов 14 – 30 (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 № 1

к экзамену по дисциплине «Сенсорные микросистемы»

1. Тензор пьезосопротивления. Матричные обозначения. Особенности структуры тензоров в п-и р-кремнии.
2. Классификация сенсоров.
3. По техническому заданию требуется разработать ёмкостный сенсор давления с круглой мембраной, чувствительностью не менее 0,9 пФ/Па для давления 150 Па. Оцените минимальный радиус сенсора, чтобы при толщине мембраны $h = 30$ мкм и зазора $d = 2$ мкм обеспечивались нужные по техническому заданию параметры. (2 балла).

Утверждаю: зав. кафедрой _____ проф. Гайслер В.А.
(подпись)

«23» июня 2017 г.

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 **25 – 49 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 **50 – 66 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 **67 – 86 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, 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 **87 – 100 баллов**.

3. Шкала оценки

Для допуска к экзамену студент обязан выполнить и защитить все лабораторные работы, присутствовать на всех практических занятиях, сдать и защитить курсовую работу не менее, чем на 10 баллов, а также написать контрольную работу не менее, чем на 6 баллов. Минимальный общий балл для допуска к экзамену составляет 30 баллов.

Максимальный балл, который студент может набрать в ходе сдачи экзамена, равен 40, таким образом, коэффициент пересчёта баллов экзамена в итоговые баллы по дисциплине равен 0,4.

Оценка «**неудовлетворительно**» (оценка FX) ставится в случае, если студент отвечает на **неудовлетворительном** уровне, и набирает по сумме ответов на все вопросы от 10 до 19,6 итоговых баллов.

Оценка «**удовлетворительно**» (оценки E, D-, D) ставится в случае, если студент отвечает на **пороговом** уровне, и набирает от 20 до 26,4 баллов, а также на **базовом** уровне, если набранный им итоговый балл по сумме ответа на все вопросы находится в пределах от 26,8 до 28,8 (оценки D+ и C-).

Оценка «**хорошо**» (оценки C, C+, B-, B) ставится в случае, если студент отвечает на **базовом** уровне, и набирает от 29,2 до 34,4 итоговых баллов.

Оценка «**отлично**» (оценки B+, A-, A, A+) ставится в случае, если студент отвечает на **продвинутом** уровне, и набирает от 34,8 до 40 итоговых баллов.

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее **20** баллов (из **40** возможных).

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

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 «Сенсорные микросистемы»

1. Тензор механических напряжений. Матричные обозначения. Правило преобразования компонент.
2. Тензор деформаций. Матричные обозначения. Правило преобразования компонент.
3. Закон Гука. Тензор упругих постоянных. Матричные обозначения.
4. Тензор пьезосопротивления. Матричные обозначения. Особенности структуры тензоров в п-и р-кремнии.
5. Распределение напряжений и деформации в кремниевом упругом элементе (жесткое защемление).
6. Угловая зависимость продольного пьезосопротивления в плоскости (100).
7. Феноменологическое описание тензорезистивного эффекта в кремнии.
8. Определение рационального размещения тензорезисторов на упругом элементе сенсора.
9. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Пьезоэлектрический конденсатор.
10. Тензор пьезоэлектрических модулей. Матричные обозначения. Угловая зависимость модуля d_{111} .
11. Математическое описание работы акселерометра.
12. Эффект Холла. Преобразовательная характеристика Холловского сенсора для слабых полей.
13. Эффект магнетосопротивления. Физические причины эффекта.
14. Классификация сенсоров.
15. Металлические тензорезисторы. Характеристики, конструкция, материалы.
16. Метрологические характеристики сенсоров давления.
17. Сенсоры на основе ёмкостного эффекта. Классификация. Уровнемеры. Датчики сплошности.
18. Преобразовательная характеристика ёмкостного сенсора давления.
19. Конструктивная реализация ёмкостного сенсора по LOCOS-технологии.
20. Достоинства и недостатки пьезоэлектрических сенсоров. Коэффициент электромеханической связи. Материалы.
21. Акселерометры, области применения. Общая структура акселерометра.
22. Конструкция и технология тензорезистивного акселерометра.
23. Ёмкостные акселерометры. Принцип работы и устройство акселерометра с обратной связью.
24. Термические сенсоры. Классификация. Температурные шкалы. Физический смысл температуры.
25. Терморезисторы и термисторы (характеристики, устройство, материалы).
26. Термопары. Физический принцип работы термопар.
27. Транзистор, как температурный сенсор.
28. Магнитные сенсоры. Сенсоры измерения магнитных величин. Классификация магнитных сенсоров.
29. Конструкция магниторезисторов.
30. Метрологические характеристики Холловских сенсоров и магниторезисторов.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Сенсорные микросистемы», 6 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам:

1. Тензоры механических напряжений и деформаций. Тензорезистивный мост Уитстона.
2. Кремниевые ёмкостные сенсоры давления. Кремниевые акселерометры.
3. Пьезоэлектрический эффект. Сенсоры на пьезоэлектрическом эффекте.
4. Холловские сенсоры.

Контрольная работа включает решение от 2 до 7 задач, из которых 3 задачи низкого, 3 задачи среднего и 1 задача высокого уровней сложности, и выполняется письменно.

2. Критерии оценки

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

Контрольная работа считается **не выполненной**, если:

- 1) правильно решена всего одна задача;
- 2) решение ни одной из представленных задач не доведено до ответа;
- 3) в решении всех представленных задач содержатся логические ошибки;
- 4) в задачах приведён только ответ, без решения и обоснования этого решения.

Оценка составляет **25 – 49** баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если:

- 1) правильно решены 3 задачи среднего уровня сложности;
- 2) решено более половины всех задач, при этом ход решения всех задач верен, но в решениях допущены вычислительные ошибки.

Оценка составляет **50 – 66** баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если (один из приведенных ниже вариантов):

- 1) правильно решены 3 задачи среднего и 1 задача низкого уровня сложности;
- 2) решены все имеющиеся задачи, при этом ход решения всех задач верен, но в решениях допущены вычислительные ошибки.

Оценка составляет **67 – 86** баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если правильно решены все имеющиеся в работе задачи.

Оценка составляет **87 – 100** 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.

Уровень сложности задачи оценивается первичными баллами следующим образом:

Низкий уровень сложности – 1 балл;

Средний уровень сложности – 2 балла;

Высокий уровень сложности – 3 балла.

Максимальный балл, который студент может набрать в ходе выполнения контрольной работы, равен 30, таким образом, коэффициент пересчёта баллов контрольной работы в итоговые баллы по дисциплине равен 0,3.

Оценка «**неудовлетворительно**» (оценка FX) ставится в случае, если работа **не выполнена** (от 7,5 до 14,7 итоговых баллов), в этом случае работа переписывается заново.

Оценка «**удовлетворительно**» (оценки E, D-, D) ставится в случае, если работа выполнена на **пороговом** уровне (от 15 до 19,8 баллов), а также на **базовом** уровне, если балл за работу находится в пределах от 20,1 до 21,6 (оценки D+ и C-).

Оценка «**хорошо**» (оценки C, C+, B-, B) ставится в случае, если работа выполнена на **базовом** уровне (от 21,9 до 25,8 баллов).

Оценка «**отлично**» (оценки B+, A-, A, A+) ставится в случае, если работа выполнена на **продвинутом** уровне (от 26,1 до 30 баллов).

4. Пример варианта контрольной работы

Задание 1.

По техническому заданию требуется разработать ёмкостный сенсор давления с круглой мембраной, чувствительностью не менее 0,9 пФ/Па для давления 150 Па. Оцените минимальный радиус сенсора, чтобы при толщине мембраны $h = 30$ мкм и зазора $d = 2$ мкм обеспечивались нужные по техническому заданию параметры.

Задание 2.

На прямоугольный кремниевый столбик размерами $1 \times 1 \times 10$ мм и ориентацией сторон вдоль направления $[100]$ действует сжимающая сила 10 кГ. Найдите компоненты тензора деформации и механических напряжений в системе координат образца.

Задание 3.

Прямоугольная кремниевая пластина $2 \times 6 \times 0.5$ мм и удельным сопротивлением 20 Ом·см находится в однородном магнитном поле 0.1 Тл. Оцените Холловскую ЭДС и магнитную чувствительность этой пластины при токе питания 1 мА и при напряжении питания 1 В.

Задание 4.

К прямоугольной пластинке пьезокварца размерами $15 \times 10 \times 5$ мм приложено давление 150 Па, перпендикулярно к её наибольшей грани. Оцените электрическую ёмкость и выходной сигнал полученного сенсора давления, если компонента тензора пьезоэлектрических модулей $d_{11} = -2.3 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н.

Задание 5.

Кремниевый акселерометр питается от источника напряжения 5 В и представляет собой прямоугольную жёстко заземлённую с одного конца балочку с размерами $25 \times 5 \times 0.4$ мм. Под свободным концом балочки, не выходя за её пределы, укреплен гравитационная масса из кремния размерами $5 \times 5 \times 0.1$ мм. В результате воздействия на акселерометр некоторым ускорением, направленным по вертикали, прибор показал 100 мВ. Оцените это ускорение, если в начальный момент (до его приложения) прибор показывал отсутствие

сигнала. Распределение механических напряжений в балочке считайте одномерным, поперечную компоненту тензора пьезосопротивления считайте пренебрежимо малой. Плотность кремния примите равной 2.33 г/см^3 , модуль Юнга для кремния примите равным $1.6 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, продольную константу пьезосопротивления - $138 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$.

Задание 6.

Оцените выходной сигнал, чувствительность и погрешность тензорезистивного моста Уитстона, состоящего из четырёх планарных кремниевых тензорезисторов сопротивлением $1 \text{ кОм} \pm 1\%$, если коэффициент тензочувствительности равен 100, деформация не превышает 10^{-3} , а напряжение питания составляет 5 В.

Задание 7.

Вычислить компоненты тензора пьезосопротивления в матричных индексах для системы кристаллографических осей, повернутой относительно оси z на угол $+45^\circ$. Изначально тензор записан в главных кристаллографических осях.

Паспорт курсовой работы

по дисциплине «Сенсорные микросистемы», 6 семестр

1. Методика оценки.

Задание: Спроектировать и рассчитать топологию сенсора давления на жёстко защемленном кремниевом упругом элементе мембранного типа.

Структура: 1. Выбор кристаллографической ориентации чипа, расчёт упругих постоянных в системе координат чипа. 2. Нахождение элементов тензора упругой податливости. 3. Нахождение прогибов упругого элемента. 4. Расчёт деформаций и напряжений упругого элемента. 5. Нахождение оптимального расположения тензорезистора. 6. Расчёт преобразовательной характеристики сенсора. 7. Вывод и заключение. 8. Список литературы.

Этапы выполнения и защиты:

1. Студент должен провести расчет распределения механических напряжений и деформаций с упругими элементами различной формы методом Галёркина-Ритца;
2. Определить рациональную топологию размещения тензорезисторов на упругом элементе;
3. Провести расчет преобразовательной характеристики сенсора давления;
4. Результаты расчетов представить в виде таблиц и графиков, сделать вывод;
5. Описать результаты проектирования в пояснительной записке;
6. Оформить пояснительную записку в соответствии с требованиями;
7. К пояснительной записке приложить CD с полным текстом пояснительной записки и всеми файлами, созданными студентом в ходе выполнения работы;
8. Ответить на вопросы преподавателя в ходе защиты.

Отчет по курсовой работе (пояснительная записка) должен в обязательном порядке содержать:

1. Титульный лист, заполненный в соответствии установленной формой, и названием работы «Разработка чувствительного элемента кремниевго тензорезистивного сенсора давления», подписанный исполнителем (студентом) (2 экз.).
2. Лист с заданием на курсовую работу (2 экз.) Лист должен содержать Ф.И.О. студента (исполнителя задания), название дисциплины, название темы работы, исходные данные (указание, что требуется разработать), дату выдачи задания, дату представления работы руководителю, поле «Замечания к работе» (с достаточным местом для замечаний) и подпись руководителя (преподавателя).
3. Лист с техническим заданием для курсовую работу (2 экз.)
4. Содержание работы с нумерацией страниц.
5. Текст пояснительной записки, содержащей все проведенные студентом расчёты, обоснования и выводы, а также графическую и табличную информацию, если она требуется.
6. Вывод и заключение. Вывод должен соответствовать цели работы, указанной в графе «Исходные данные»
7. CD диск, с полным набором всех файлов, созданных студентом в ходе выполнения

курсовой работы, включая файл с полным текстом пояснительной записки.

Оцениваемые позиции:

1. Наличие/отсутствие титульного листа, заполненного в соответствии с установленной формой.
2. Наличие/отсутствие заполненных полей на листе с заданием для курсовой работы.
3. Наличие/отсутствие вывода и заключения.
4. Ясность и полнота изложенной информации.
5. Наличие/отсутствие необходимых по тексту рисунков и таблиц.
6. Наличие/отсутствие комментариев к рисункам и таблицам.
7. Ясность и полнота ответов на вопросы преподавателя.

Отрицательная информация по любой из позиций оценивается в 0 баллов, положительная – в 1 балл и более, в зависимости от качества ответа.

2. Критерии оценки.

Работа считается **не выполненной**, если в ней допущены фактические ошибки, например:

- 1) компоненты тензора упругих податливостей выбраны кристаллографической плоскости, отличной от заданной;
- 2) отсутствуют предусмотренные заданием рисунки и графики;
- 3) при расчётах допущены вычислительные ошибки;
- 4) пояснительная записка к курсовой работе не оформлена надлежащим образом;
- 5) студент не может прокомментировать представленную преподавателю пояснительную записку к курсовой работе.

Оценка составляет **25 – 49** баллов.

Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части работы выполнены формально, например:

- 1) рисунки и таблицы приведены без пояснений;
- 2) выбор места расположения чувствительного элемента на поверхности тензопреобразователя не обоснован;
- 3) пояснительная записка к курсовой работе оформлена неаккуратно, CD отсутствует;
- 4) студент затрудняется прокомментировать некоторые места представленной преподавателю пояснительной записки к курсовой работе.

Оценка составляет **50 – 66** баллов.

Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если:

- 1) пояснительная записка содержит все расчёты, рассуждения и выводы, а также необходимые по тексту рисунки и таблицы в полном объёме;
- 2) пояснительная записка оформлена аккуратно, с соблюдением всех предъявляемых к её оформлению требований;
- 3) к пояснительной записке приложен CD с полной версией всех файлов, созданных студентом в ходе выполнения работы;
- 4) качество комментариев студента к представленной преподавателю пояснительной записке побуждает преподавателя задавать дополнительные наводящие вопросы.

Оценка составляет **67 – 86** баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если:

- 1) пояснительная записка содержит все расчёты, рассуждения и выводы, а также необходимые по тексту рисунки и таблицы в полном объёме, со всеми необходимыми обоснованиями;

- 2) все требования к оформлению пояснительной записки соблюдены;
- 3) работа представлена на проверку преподавателю в определённые преподавателем сроки;
- 4) качество комментариев студента к представленной преподавателю пояснительной записке не побуждает преподавателя задавать дополнительные наводящие вопросы.

Оценка составляет **87 – 100** баллов.

3. Шкала оценки.

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

4. Примерный перечень тем курсовой работы.

Курсовая работа выдается по вариантам с типовым набором параметров. Варианты отличаются друг от друга параметрами:

1. Номинальное давление, атм. (может изменяться в пределах от 0,1 до 30);
2. Коэффициент запаса прочности (может изменяться от 2 до 7);
3. Форма упругого элемента (круглая, квадратная или прямоугольная);
4. Размеры упругого элемента, мм (указываются длина, ширина или диаметр круга);
5. Плоскость упругого элемента (может быть (100), (110) или (111));
6. Наружные размеры чипа, мм (квадрат со стороной от 1 до 4)
7. Компоненты матрицы пьезосопротивления (указываются компоненты π_{11} , π_{12} , π_{44}).

5. Перечень вопросов к защите курсовой работы.

1. Метод Галёркина – Ритца. Постановка краевой задачи.
2. Решение краевой задачи. Уравнение прогибов мембраны.
3. Тензор упругих податливостей в главных кристаллографических осях и в выбранной системе координат.
4. Матрица направляющих косинусов. Переход к новой системе координат.
5. Тензор деформаций. Переход от тензорных обозначений к матричным.
6. Тензор механических напряжений. Закон Гука. Условие малых деформаций.
7. Тензор пьезосопротивления. Вид тензора в главных кристаллографических осях. Правило суммирования Эйнштейна.
8. Распределение механических напряжений в жёстко заземленной кремниевой пластине
9. Нахождение оптимального угла поворота оси тензорезистора.