

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
Компоненты микросистемной техники

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 нанотехнологии 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	
з3. Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и наноэлектронном исполнении, технологию их изготовления	
з7. Знать современные области применения микро- и наноэлектронных 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 наноэлектронном 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 наноэлектронном исполнении	
Компетенция ФГОС: ПК.2 готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:	
з4. Владеть методами экспериментального исследования параметров и характеристик материалов и компонентов 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
Компоненты микросистемной техники	
ПК.1.з12 Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	
1.Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники.	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.з19 Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	
2.Знать физические принципы работы сенсоров механических, тепловых, магнитных, химических и радиационных величин.	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
3.Знать физические принципы работы актюаторов с электростатическим и термическим управлением.	Лекции; Самостоятельная работа
ПК.1.з3 Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и наноэлектронном исполнении, технологию их изготовления	
4.Знать основные метрологические характеристики важнейших типов сенсоров и актюаторов.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
5.Знать основные влияющие факторы сенсоров и пути ослабления их действия.	Лекции; Самостоятельная работа
6.Знать основные схемотехнические пути включения компонент микросистемной техники в состав микросистем.	Лекции; Самостоятельная работа
ПК.1.з7 Знать современные области применения микро- и наноэлектронных датчиков в электронных приборах и устройствах, тенденции и перспективы их развития	
7.Иметь представление об общей идеологии развития нового направления техники - микросистемная техника и технология.	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

8.Иметь представление о тенденциях развития компонент микросистем, использующих технологию микроэлектроники.	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
9.Иметь представление о новейших направлениях технологии микросистемной техники.	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
10.Иметь представление о взаимосвязи между микросистемной техникой и схемотехническими и технологическими достижениями микроэлектроники.	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
11.Иметь представление о тенденциях развития рынка компонент и современных микросистем в мире.	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.y1 Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	
12.Уметь использовать приемы ослабления действия влияющих факторов для создания микросистем с необходимыми метрологическими характеристиками.	Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.y4 Владеть методами расчета, моделирования и проектирования датчиков физических измерений в микро- и наноэлектронном исполнении	
13.Уметь проектировать сенсоры механических, тепловых и магнитных величин с учетом особенностей измеряемых величин.	Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.y5 Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	
14.Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование интеллектуальных сенсоров.	Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.1.y9 Уметь производить обоснованный выбор датчиков физических измерений в микро- и наноэлектронном исполнении	
15.Уметь производить обоснованный выбор практических вариантов сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач.	Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.34 Владеть методами экспериментального исследования параметров и характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	
16.Владеть методами проектирования микроэлектронных сенсоров давления и магнитной индукции.	Практические занятия; Самостоятельная работа
17.Иметь опыт работы с реальными сенсорами, выпускаемыми различными мировыми фирмами.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
18.Владеть методами экспериментального исследования параметров и характеристик микро- и наносистемных сенсоров и актюаторов.	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: 6				
Дидактическая единица: Вводная часть.				
1. Вводная лекция.	0	2	10, 11, 7, 8, 9	Введение. Микросистемная техника (МСТ) - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности. Элементы и компоненты микросистемной техники. Сенсоры и актюаторы. Примеры.
Дидактическая единица: Физические принципы работы и конструктивно-технологические особенности сенсоров механических величин.				

2. Сенсоры механических величин.	0	2	2, 3, 4, 5, 6	Сенсоры на тензорезистивном эффекте. Металлические тензорезисторы. Принцип действия, основные характеристики, типичные конструкции. Применение.
3. Тензорезистивный эффект в кремнии.	0	2	2, 4, 5, 6	Феноменологическое описание эффекта. Матрица пьезосопротивления для кубических кристаллов. Компоненты матрицы пьезосопротивления для кремния.
4. Упругие элементы и их нагружение.	0	2	2, 4, 5	Основные типы упругих элементов. Распределение напряжений и деформаций в круглых и квадратных упругих элементах.
5. Топология сенсоров давления.	0	2	2, 4, 5, 6	Основные уравнения топологии сенсоров давления. Пример топологии для упругих элементов в квадратной форме с тензорезисторами р-и п-типов.
6. Метрологические характеристики сенсоров давления.	0	2	10, 2, 4, 5, 6	Электрические схемы тензорезистивных сенсоров давления. Метрологические характеристики сенсоров давления. Чувствительность, начальный разбаланс, нелинейность, гистерезис.
7. Ёмкостные сенсоры.	0	2	10, 2, 4, 5, 8, 9	Ёмкостный принцип преобразования. Преобразовательная характеристика ёмкостного сенсора давления с круглым упругим элементом. Особенности конструкции ёмкостных сенсоров. Применение LOCOS технологии для ёмкостных сенсоров.
8. Акселерометры.	0	2	2, 3, 4, 5, 6	Акселерометры. Основные типы МЭМС акселерометров. Основные уравнения и характеристики. Конструкции тензорезистивных и ёмкостных акселерометров.
9. Пьезоэлектрические сенсоры.	0	2	10, 2, 4, 5, 6	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.				

10. Сенсоры термического сигнала.	0	2	2, 4, 5, 6, 8, 9	Сенсоры термического сигнала. Температура. Температурные шкалы. Теплопроводность, конвекция, излучение. Термочувствительные элементы. Терморезисторы, термопары. Примеры реализации термических сенсоров.
11. Электронные термометры.	0	2	2, 4, 5, 6, 9	Электронные термометры. Диоды и транзисторы, как элементы электронного термометра. РТАТ-термометры.
12. Магнитные сенсоры.	0	2	10, 2, 4, 5, 6, 8	Магнитные сенсоры. Области применения. Эффект Холла, эффект магнетосопротивления в полупроводниках. Конструкции, материалы, характеристики.
13. Сенсоры излучения.	0	2	2, 4, 5, 6, 8	Сенсоры излучения. Классификация сенсоров. Сенсоры оптического и ИК излучения. Физические принципы работы.
14. Сенсоры оптического излучения.	0	2	2, 4, 5, 6, 8	Сенсоры оптического излучения на основе фотопроводимости. Основные уравнения, схемы включения, характеристики. Особенности конструкции.
15. Детекторы ядерного излучения.	0	2	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Детекторы ядерного излучения. Физические причины радиоактивного излучения. Единицы дозиметрии. Счетчик Гейгера-Мюллера. Ядерные детекторы на основе ди-иодида ртути и кремния.
16. Химические сенсоры.	0	2	2, 4, 5, 7, 8	Химические сенсоры. Принципы работы. Хеморезисторы и хемоконденсаторы. Сенсоры влажности. Единицы измерения. МЭМС сенсоры влажности.
17. Элементы химических сенсоров.	0	2	2, 4, 5, 6	Полевые транзисторы, как основной элемент химических сенсоров. рН-метры, как элемент химического сенсора.
Дидактическая единица: Тенденции развития микросистемной техники.				
18. Заключительная лекция.	0	2	1, 10, 11, 7, 8, 9	Тенденции развития микросистемной техники и рынка микросистем.

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	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. Тензорезистивные сенсоры давления.	0	4	17, 18, 2, 4	Экспериментальное изучение принципов работы, конструктивных особенностей и основных метрологических характеристик сенсоров давления ведущих мировых производителей.
Дидактическая единица: Физические принципы работы и построение сенсоров магнитных, термических, радиационных и химических сигналов.				
2. Термические сенсоры.	0	4	17, 18, 2, 4	Экспериментальное изучение принципов работы, конструктивных особенностей и основных метрологических характеристик термических сенсоров ведущих мировых производителей.
3. Магниторезистивные сенсоры.	0	4	17, 18, 2, 4	Экспериментальное изучение принципов работы, конструктивных особенностей и основных метрологических характеристик магниторезистивных сенсоров ведущих мировых производителей.
4. Катушки Гельмгольца.	0	4	17, 18, 2, 4	Экспериментальное изучение топологии магнитного поля колец Гельмгольца с помощью магниторезистивного сенсора.
Дидактическая единица: Тенденции развития микросистемной техники.				
5. Сравнительный анализ сенсоров физических величин.	0	2	15, 17, 18, 2, 4	Сравнительный анализ сенсоров различных физических величин (по выбору преподавателя) и представление 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. Упругие элементы в микросистемной технике.	2	2	1, 12, 13, 15, 16, 2	Рассмотрение механических напряжений и деформаций в упругих элементах сенсоров давления.

2. Расчет механических напряжений и деформаций.	2	2	1, 13, 14, 15, 16, 2	Анализ механических напряжений и деформаций в упругом элементе методом Галёркина-Ритца.
3. Топология сенсоров давления.	2	2	1, 12, 13, 14, 15, 2	Рассмотрение топологии сенсоров давления и путей ее оптимизации. Выдача курсовой работы
4. Тензорезистивный акселерометр балочного типа.	2	2	1, 12, 13, 14, 15, 2	Рассмотрение принципов работы и особенностей конструкции акселерометров балочного типа.
Дидактическая единица: Физические принципы работы и построение сенсоров магнитных, термических, радиационных и химических сигналов.				
5. Термический сенсор излучения балочного типа.	2	2	1, 12, 13, 14, 15, 2	Рассмотрение принципов работы и конструктивных особенностей термического сенсора излучения балочного типа.
6. Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов.	2	2	1, 12, 13, 14, 15, 2	Рассмотрение основных принципов работы и конструктивных особенностей термических сенсоров, использующих термисторы и терморезисторы.
7. Холловские сенсоры.	2	2	1, 12, 13, 14, 15, 2	Анализ принципов работы, конструктивных особенностей и основных характеристик Холловских сенсоров.
8. Магниторезистивные сенсоры.	2	2	1, 12, 13, 14, 15, 2	Анализ принципов работы, конструктивных особенностей и основных метрологических характеристик магниторезистивных сенсоров.
Дидактическая единица: Тенденции развития микросистемной техники.				
9. Заключительное занятие.	2	2	1, 10, 11, 2, 7, 8, 9	Обсуждение основных тенденций развития микросистемной техники и прогнозов на будущее.

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 6				
1	Тензоры механических напряжений, деформаций и упругости.	13, 2, 3, 4	1	2
На прямоугольный кремниевый столбик размером 1 на 1, на 10 мм, и ориентацией сторон вдоль направления 100, действует сжимающая сила 10 кГ. Найти компоненты тензора деформации и механических напряжений в системе координат образца.: Бялик А. Д. Элементарная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419				
2	Магнитные сенсоры.	13, 2, 3, 4	1	2

Прямоугольная кремниевая пластина 2на 6, на 0.5 мм с удельным сопротивлением 20 Ом см находится в однородном магнитном поле 0.1 Тл. Оценить Холловскую ЭДС.: Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419				
3	Проектирование топологии сенсора давления.	12, 13, 14, 15, 16, 2, 3, 4, 6	56	4
В процессе выполнения курсовой работы студенту необходимо: 1. 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. Подготовить отчет в соответствии с требованиями. Пояснительная записка должна содержать не менее 15-20 страниц текста с рисунками.: Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419				
4	Подготовка к контрольной работе	13, 2, 3, 4	8	0
Самостоятельное изучение материала лекций, основной и дополнительной учебной литературы.: Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419				
5	Подготовка к сдаче и защите курсовой работы.	12, 13, 14, 15, 16, 2, 3, 4, 6	6	0
Самостоятельное изучение материалов лекций, основной и дополнительной учебной литературы.: Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419				
6	Подготовка к экзамену.	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	24	2
Повторение материала, подготовка примерных ответов на заранее выданные вопросы.: Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419				

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; Портал НГТУ; Социальные сети
Консультирование	e-mail; Личный типовой сайт; Среда электронного обучения НГТУ
Контроль	Портал НГТУ
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ; 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: 6		
<i>Лабораторная №1:</i> Тензорезистивные сенсоры давления.	2	4
<i>Лабораторная №2:</i> Термические сенсоры.	2	4
<i>Лабораторная №3:</i> Магниторезистивные сенсоры.	2	4
<i>Лабораторная №4:</i> Катушки Гельмгольца.	2	4
<i>Лабораторная №5:</i> Сравнительный анализ сенсоров физических величин.	2	4
<i>Практические занятия №1:</i> Упругие элементы в микросистемной технике.	2	4
<i>Практические занятия №2:</i> Расчет механических напряжений и деформаций.	2	4
<i>Практические занятия №3:</i> Топология сенсоров давления.	1	2
<i>Практические занятия №4:</i> Тензорезистивный акселерометр балочного типа.	2	4
<i>Практические занятия №5:</i> Термический сенсор излучения балочного типа.	1	2
<i>Практические занятия №6:</i> Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов.	1	2
<i>Практические занятия №7:</i> Холловские сенсоры.	2	4
<i>Практические занятия №8:</i> Магниторезистивные сенсоры.	2	4
<i>Практические занятия №9:</i> Заключительное занятие.	1	2
<i>Контрольные работы №10:</i> Тензоры механических напряжений, деформаций и упругости.	3	6
<i>Контрольные работы №11:</i> Магнитные сенсоры	3	6
<i>Курсовая работа:</i> Проектирование топологии сенсора давления.	50	100 (в состав баллов за КР)
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419 "		
<i>Экзамен:</i>	0	40
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419 "		

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

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля		
		Контр. раб.	Защита КП/КР	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	+		+
	33. 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			+
ПК.2	з4. Владеть методами экспериментального исследования параметров и характеристик материалов и компонентов 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. 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.
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>
5. 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

Дополнительная литература

1. 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.
2. Аш Ж. Датчики измерительных систем. В 2 кн.. Кн. 1 / Ж. Аш ; пер. с фр. А. С. Обухова. - М., 1992. - 480 с. : ил.
3. Ваганов В. И. Интегральные тензопреобразователи / В. И. Ваганов. - М., 1983. - 137 с. : ил.
4. Хомерики О. К. Полупроводниковые преобразователи магнитного поля / О. К. Хомерики. - М., 1986. - 135, [1] с. : ил.
5. Проектирование датчиков для измерения механических величин / [Е. П. Осадчий и др.] ; под ред. Е. П. Осадчего. - М., 1979. - 479, [1] с. : ил., табл.
6. 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 "Znaniium.com" : <http://znaniium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Бялик А. Д. Элементная база электроники. Задачник : учебно-методическое пособие / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2016. - 44, [3] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232419

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	ЭЛЛИПСОМЕТР	Используется для проведения 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. Хрусталеv
“ ” _____ _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Компоненты микросистемной 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 Компоненты микросистемной 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	33. Знать принципы работы и основные параметры датчиков физических измерений в микро- и наноэлектронном исполнении, технологию их изготовления	Акселерометры. Детекторы ядерного излучения. Ёмкостные сенсоры. Катушки Гельмгольца. Магнитные сенсоры. Магниторезистивные сенсоры. Метрологические характеристики сенсоров давления. Пьезоэлектрические сенсоры. Сенсоры излучения. Сенсоры механических величин. Сенсоры оптического излучения. Сенсоры термического сигнала. Сравнительный анализ сенсоров физических величин. Тензорезистивные сенсоры давления. Тензорезистивный эффект в кремнии. Термические сенсоры. Топология сенсоров давления. Упругие элементы и их нагружение. Химические сенсоры. Электронные термометры. Элементы химических сенсоров.	Контрольные работы, задачи 1 – 7. Курсовая работа, разделы 1 – 7.	Экзамен, вопросы 1 – 30.
ПК.1/НИ	37. Знать современные области применения микро- и наноэлектронных датчиков в электронных приборах и устройствах, тенденции и перспективы их развития	Вводная лекция. Детекторы ядерного излучения. Ёмкостные сенсоры. Заключительная лекция. Заключительное занятие. Магнитные сенсоры. Метрологические характеристики сенсоров давления. Пьезоэлектрические сенсоры. Сенсоры излучения. Сенсоры оптического излучения. Сенсоры термического сигнала. Химические сенсоры. Электронные термометры.	Курсовая работа, разделы 1 – 7.	Экзамен, вопросы 9, 10, 16, 24 – 30
ПК.1/НИ	312. Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	Заключительная лекция. Заключительное занятие. Магниторезистивные сенсоры. Расчет механических напряжений и деформаций. Тензорезистивный акселерометр балочного типа. Термический сенсор излучения балочного типа. Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов. Топология сенсоров давления. Упругие		Экзамен, вопросы 4 – 6, 11, 21 – 25, 29, 30

		элементы в микросистемной технике. Холловские сенсоры.		
ПК.1/НИ	з19. Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	Акселерометры. Ёмкостные сенсоры. Катушки Гельмгольца. Магнитные сенсоры. Магниторезистивные сенсоры. Метрологические характеристики сенсоров давления. Расчет механических напряжений и деформаций. Сенсоры механических величин. Сравнительный анализ сенсоров физических величин. Тензорезистивные сенсоры давления. Тензорезистивный акселерометр балочного типа. Тензорезистивный эффект в кремнии. Термические сенсоры. Термический сенсор излучения балочного типа. Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов. Топология сенсоров давления. Упругие элементы в микросистемной технике. Упругие элементы и их нагружение. Холловские сенсоры.	Контрольные работы, задачи 1 – 7.	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	Магниторезистивные сенсоры. Тензорезистивный акселерометр балочного типа. Термический сенсор излучения балочного типа. Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов. Топология сенсоров давления. Упругие элементы в микросистемной технике. Холловские сенсоры.		Экзамен, вопросы 5, 8, 21 – 25, 30
ПК.1/НИ	у4. Владеть методами расчета, моделирования и проектирования датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	Магниторезистивные сенсоры. Расчет механических напряжений и деформаций. Тензорезистивный акселерометр балочного типа. Термический сенсор излучения балочного типа. Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов. Топология сенсоров давления. Упругие элементы в микросистемной технике. Холловские сенсоры.	Контрольные работы, задачи 1 – 7	Экзамен, вопросы 1, 2, 5, 8, 21 – 25, 30
ПК.1/НИ	у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	Магниторезистивные сенсоры. Расчет механических напряжений и деформаций. Тензорезистивный акселерометр балочного типа. Термический сенсор излучения балочного типа. Термический сенсор на основе терморезисторов и	Курсовая работа, разделы 1 – 7.	Экзамен, вопросы 1 – 8, 28 – 30

		термисторов. Топология сенсоров давления. Холловские сенсоры.		
ПК.1/НИ	у9. Уметь производить обоснованный выбор датчиков физических измерений в микро- и нанoeлектронном исполнении	Магниторезистивные сенсоры. Расчет механических напряжений и деформаций. Сравнительный анализ сенсоров физических величин. Тензорезистивный акселерометр балочного типа. Термический сенсор излучения балочного типа. Термический сенсор на основе терморезисторов и термисторов. Топология сенсоров давления. Упругие элементы в микросистемной технике. Холловские сенсоры.		Экзамен, вопросы 1, 2, 5, 8, 21, 22, 24 - 27
ПК.2/НИ готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	34. Владеть методами экспериментального исследования параметров и характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	Катушки Гельмгольца. Магниторезистивные сенсоры. Расчет механических напряжений и деформаций. Сравнительный анализ сенсоров физических величин. Тензорезистивные сенсоры давления. Термические сенсоры. Упругие элементы в микросистемной технике.		Экзамен, вопросы 4 – 6, 11, 21 – 25, 29, 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, ПК.2/НИ.

Форма проведения экзамена приведена в паспорте экзамена, приложенном к рабочей программе.

Кроме того, сформированность компетенций 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 компетенций ПК.1/НИ, ПК.2/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 «Компоненты микросистемной техники», 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 «Компоненты микросистемной техники»

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 «Компоненты микросистемной техники»

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 «Компоненты микросистемной техники», 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 12, таким образом, коэффициент пересчёта баллов контрольной работы в итоговые баллы по дисциплине равен 0,12.

Оценка «**неудовлетворительно**» (оценка FX) ставится в случае, если работа **не выполнена** (от 3 до 5,88 итоговых баллов), в этом случае работа переписывается заново.

Оценка «**удовлетворительно**» (оценки E, D-, D) ставится в случае, если работа выполнена на **пороговом** уровне (от 6 до 7,92 баллов), а также на **базовом** уровне, если балл за работу находится в пределах от 8 до 8,64 (оценки D+ и C-).

Оценка «**хорошо**» (оценки C, C+, B-, B) ставится в случае, если работа выполнена на **базовом** уровне (от 8,76 до 10,32 баллов).

Оценка «**отлично**» (оценки B+, A-, A, A+) ставится в случае, если работа выполнена на **продвинутом** уровне (от 10,44 до 12 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. (2 балла).

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. (2 балла).

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 (1 балл).

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. (2 балла).

Задание 5.

Кремниевый акселерометр питается от источника напряжения 5 В и представляет собой прямоугольную жёстко закреплённую с одного конца балочку с размерами $25 \times 5 \times 0.4$ мм. Под свободным концом балочки, не выходя за её пределы, укреплена 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 - $138 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ (3 балла).

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. (1 балл).

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. (1 балл).

Паспорт курсовой работы

по дисциплине «Компоненты микросистемной техники», 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 кремниевое 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 защемленной кремниевой пластине
9. Нахождение оптимального угла поворота оси тензорезистора.