МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Сенсорные микросистемы

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	8 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	часов
2	Практические занятия	16	16	часов
3	Всего аудиторных занятий	34	34	часов
4	Из них в интерактивной форме	6	6	часов
5	Самостоятельная работа	38	38	часов
6	Всего (без экзамена)	72	72	часов
7	Общая трудоемкость	72	72	часов
		2.0	2.0	З.Е.

Зачет: 8 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 34940

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от « 19 » 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 06.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

Ассистент каф. ФЭ _____ Ю. С. Жидик

Доцент Каф. ФЭ _____ В. А. Мухачев

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ _____ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ) _____ И. А. Чистоедова

Профессор кафедры физической электроники (ФЭ) _____ Т. И. Данилина

Согласована на портале № 34940

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью преподавания дисциплины является формирование знаний в области методов формирования и физических принципов функционирования сенсорных элементов микро- и наносистемной техники.

1.2. Задачи дисциплины

– изучение физических основ функционирования сенсорных элементов микро- и наносистемной техники;

– ознакомление с основными параметрами и характеристиками сенсорных элементов микро- и наносистемной техники;

– изучение принципов построения сенсорных и многосенсорных систем микро- и наносистемной техники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Сенсорные микросистемы» (Б1.В.ДВ.7.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Математика, Основы технологии электронной компонентной базы, Планирование эксперимента, Физика, Физика конденсированного состояния, Физика пленочных наноструктур, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-1 способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий;

– ПК-2 готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;

– ПК-9 готовностью использовать базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;

– ПСК-1 способностью владеть современными методами расчета и проектирования изделий микро- и наноэлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** физические принципы работы сенсорных элементов микросистемной техники; базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов сенсорных элементов микросистемной техники; основные характеристики и параметры сенсорных элементов микросистемной техники;

– **уметь** применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов сенсорных элементов микросистемной техники; использовать современную измерительную технику в соей профессиональной деятельности;

– **владеть** навыками расчета основных параметров материалов сенсорных компонентов МСТ; основами обработки результатов экспериментальных данных, полученных при работе с сенсорами МСТ.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры

Согласована на портале № 34940

		8 семестр
Аудиторные занятия (всего)	34	34
Лекции	18	18
Практические занятия	16	16
Из них в интерактивной форме	6	6
Самостоятельная работа (всего)	38	38
Проработка лекционного материала	8	8
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	30	30
Всего (без экзамена)	72	72
Общая трудоемкость, ч	72	72
Зачетные Единицы	2.0	2.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Ле к., ч	ра к. за н	м. ра б.,	в (б ез	ир уе м ые ко м
8 семестр					
1 Сенсорные элементы микросистемной техники (МСТ)	4	2	3	9	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
2 Температурные сенсорные элементы МСТ	4	4	11	19	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
3 Сенсорные элементы давления	2	2	6	10	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
4 Сенсорные элементы магнитного поля	4	4	9	17	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
5 Сенсорные элементы угловых скоростей	4	4	9	17	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
Итого за семестр	18	16	38	72	
Итого	18	16	38	72	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	ое мк ос	м ые ко
8 семестр			
1 Сенсорные элементы микросистемной техники (МСТ)	Основные понятия сенсорных элементов МСТ.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Виды сенсорных чувствительных элементов МСТ	2	
	Итого	4	
2 Температурные сенсорные элементы МСТ	Термоэлектричество. Резистивные сенсоры температуры. Полупроводниковые сенсоры температуры. Пьезоэлектрические датчики температуры. Бесконтактное измерение температуры. Использование сенсоров температуры в комбинации с другими	4	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1

Согласована на портале № 34940

	преобразователями.		
	Итого	4	
3 Сенсорные элементы давления	Каталитические сенсоры концентрации газов. Тепловые расходомеры. Термопневматические детекторы.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Итого	2	
4 Сенсорные элементы магнитного поля	Элемент Холла. Двухколлекторный магнитотранзистор. Нанометровые магнитные сенсоры. Гигантское магнитное сопротивление.	4	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Итого	4	
5 Сенсорные элементы угловых скоростей	Волоконный оптический гироскоп. Микромеханические гироскопы.	4	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Итого	4	
Итого за семестр		18	

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

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

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин				
	1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины					
1 Математика	+	+	+	+	+
2 Основы технологии электронной компонентной базы	+	+	+	+	+
3 Планирование эксперимента	+	+	+	+	+
4 Физика	+	+	+	+	+
5 Физика конденсированного состояния	+	+	+	+	
6 Физика пленочных наноструктур	+	+	+	+	+
7 Химия	+		+		
Последующие дисциплины					
1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты	+	+	+	+	+

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

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

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий			Формы контроля
	Лек.	Практ. зан.	Сам. раб.	

Согласована на портале № 34940

ПК-1	+	+	+	Опрос на занятиях, Зачет, Выступление (доклад) на занятии, Тест
ПК-2	+	+	+	Опрос на занятиях, Зачет, Выступление (доклад) на занятии, Тест
ПК-9	+	+	+	Опрос на занятиях, Зачет, Выступление (доклад) на занятии, Тест
ПСК-1	+	+	+	Опрос на занятиях, Зачет, Выступление (доклад) на занятии, Тест

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

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

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные практические занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
8 семестр			
Презентации с использованием мультимедиа с обсуждением	4	2	6
Итого за семестр:	4	2	6
Итого	4	2	6

7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	...ое мк ос	...м ые ко
8 семестр			
1 Сенсорные элементы микросистемной техники (МСТ)	Параметры и характеристики сенсоров МСТ. Термины и буквенные обозначения параметров сенсоров МСТ. Виды чувствительных сенсоров МСТ.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Итого	2	
2 Температурные сенсорные элементы МСТ	Физические основы сенсорных датчиков температуры: эффекты Пельтье и Зеебека. Применение резистивных, полупроводниковых и пьезоэлектрических сенсорных датчиков температуры.	4	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Итого	4	
3 Сенсорные элементы давления	Акселерометры с нагреваемой пластиной и с нагреваемым газом. Сенсоры изменения концентрации газов.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Итого	2	
4 Сенсорные элементы магнитного поля	Сенсорные датчики магнитного поля: прямые - непосредственное измерение магнитной	4	ПК-1, ПК-2, ПК-9,

Согласована на портале № 34940

	индукции, косвенные - обнаружение электрического поля по его магнитному полю, регистрация механического перемещения при воздействии магнитного поля.		ПСК-1
	Итого	4	
5 Сенсорные элементы угловых скоростей	Сенсорные датчики угловых скоростей - гироскопы: волоконно-оптические и микромеханические. Конструкции микромеханических гироскопов.	4	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1
	Итого	4	
Итого за семестр		16	

9. Самостоятельная работа

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

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость,	мируемые комп	Формы контроля
8 семестр				
1 Сенсорные элементы микросистемной техники (МСТ)	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1	Выступление (доклад) на занятии, Зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	3		
2 Температурные сенсорные элементы МСТ	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	9	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1	Выступление (доклад) на занятии, Зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	11		
3 Сенсорные элементы давления	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1	Выступление (доклад) на занятии, Зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	6		
4 Сенсорные элементы магнитного поля	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	7	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1	Выступление (доклад) на занятии, Зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного материала	2		
	Итого	9		
5 Сенсорные элементы угловых скоростей	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	8	ПК-1, ПК-2, ПК-9, ПСК-1	Выступление (доклад) на занятии, Зачет, Опрос на занятиях, Тест
	Проработка лекционного	1		

Согласована на портале № 34940

	материала			
	Итого	9		
Итого за семестр		38		
Итого		38		

10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
8 семестр				
Выступление (доклад) на занятии	10	10	6	26
Зачет			30	30
Опрос на занятиях	8	8	8	24
Тест			20	20
Итого максимум за период	18	18	64	100
Нарастающим итогом	18	36	100	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	E (посредственно)

Согласована на портале № 34940

2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Мухачёв В.А. Физические основы микро- и наносистемной техники. Учебное пособие. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2016. - 192 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Mukhachev/fominst_lec.pdf (дата обращения: 27.06.2018).

12.2. Дополнительная литература

1. Левицкий, Л. А. Проектирование микросистем. Программные средства обеспечения САПР : учеб. пособие / А. А. Левицкий, П. С. Маринушкин. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2010. - 156 с. ISBN 978-5-7638-2111-6 [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=442124 (дата обращения: 27.06.2018).

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Мухачёв В.А. Физические основы микро- и наносистемной техники. Учебно-методическое пособие. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. - 18 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Mukhachev/fominst_pract.pdf (дата обращения: 27.06.2018).

12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Научно-образовательный портал ТУСУР - https://edu.tusur.ru/
2. Электронная библиотека - www.elibrary.ru

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

Согласована на портале № 34940

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лекционная аудитория с интерактивным проектором и маркерной доской

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 237 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер;
- Проектор;
- Экран для проектора;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Google Chrome
- Microsoft Windows
- OpenOffice

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

Согласована на портале № 34940

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

1. Что регистрируют камертонные гироскопы?
а) линейную скорость инерционных масс;
б) ускорение Кориолиса;
в) угловую скорость вращения платформы на которой закреплен гироскоп;
г) силу Кориолиса.

2. Закон Гука в краткой форме можно записать так: $\sigma = \mathrm{E} \cdot \varepsilon$, где

а) σ – касательное механическое напряжение;

б) σ – механическая сила, приложенная к стержню;

в) ε – относительная деформация;

г) ε – абсолютная деформация.

3. Что такое коэффициент Пуассона (в законе Гука для механического напряжения)?

а) $\varepsilon_{\text{попер.}} = -\frac{\sigma_{\text{попер.}}}{\mathrm{E}}$;

б) $\varepsilon_{\mathrm{x}} = \frac{\sigma_{\mathrm{x}}}{\mathrm{E}}$;

в) $\mu = \left|\frac{\varepsilon_{\text{попер.}}}{\varepsilon_{\text{прод.}}}\right|$;

г) $\mu_{\mathrm{x}} = \frac{\sigma_{\mathrm{x}}}{\mathrm{E}}$

ε – относительное изменение размера вдоль оси стержня;

σ – механическое напряжение;

μ – коэффициент Пуассона.

4. Какое из предложенных ниже выражений являются осевым моментом инерции сечения?

а) $J_{\mathrm{x}} = \int_s y^2\, ds$;

б) $J_\rho = \int_s \rho^2\, ds$;

в) $J_y = \int_s y^2\, ds$;

г) $J_{xy} = S_s x \cdot y \cdot ds$.

где x,y – оси координат; S – площадь сечения; $\rho^2 = \mathrm{x}^2 + y^2$

5. В чем принципиальное отличие элементов микроэлектроники (например, интегральных схем (ИС)) от элементов микросистемной техники (МСТ)?
а) при изготовлении элементов МСТ травлением часто требуются высокие аспектные отношения (до 100:1);
б) при изготовлении элементов МСТ используются установки синхротронного излучения;
в) отличие в трехмерности структур МСТ, при этом элементы обладают возможностью механического перемещения относительно друг друга;

Согласована на портале № 34940

г) именно для изготовления изделий МСТ стали использовать жертвенные слои

6. Что характеризует число Рейнольдса $R_e = \frac{V \cdot L \cdot \rho}{\eta}$, где ν – скорость, L – размер объекта, ρ – плотность, η – динамическая вязкость

а) Re характеризует соотношение между инерционными силами и вязкостью (силами трения);
б) выражает соотношение инерционных сил и сил поверхностного напряжения;
в) определяет соотношение инерционных сил и сил упругости
г) выражает соотношение инерционных сил и сил гравитации.

7. Какие особенности отличают микротрибологию от макротрибологии?
а) в микротрибологии сила трения не зависит от площади контакта двух тел;
б) в микротрибологии сила трения зависит от реальной площади контакта;
в) в макротрибологии наблюдается эффект прилипания-скольжения;
г) в микротриболгии жидкое трение существенно уменьшает силу трения.

8. Под действием внешней силы $(F_{\text{внеш.}})$ консольная балка изгибается, конец ее перемещается на расстояние y. По закону Гука внешней силе противодействует сила упругости: $F_{\text{упр.}} = \text{к} \cdot \text{у}$, где K – жесткость балки. От каких параметров балки зависит K?

а) только от модуля Юнга E материала балки и длины ℓ;
б) от момента инерции сечения балки J;
в) от момента инерции сечения J и модуля Юнга;
г) K зависит от E и от ℓ и от J.

9. Для описания динамического поведения колебания консоли используется модель гармонического осциллятора, управление колебаний которого $m\frac{d^2z}{dt^2} + s\frac{dz}{dt} + kz = 0$, где s – коэффициент рассеивания энергии за счет трения. Однако для описания колебаний реальной консоли используется уравнение $m_{\text{эфф.}}\frac{d^2}{dt^2} + S_{\text{эфф.}}\frac{dz}{dt} + k_{\text{коэф.}}z = 0$. Почему масса (m) вдруг стала эффективной?

а) потому что масса консоли не является материальной точкой, а распределена по длине;
б) масса консоли зависит от момента инерции сечения;
в) коэффициент рассеивания энергии (S) зависит от демпфирующих способностей среды, в которой колеблется консоль;
г) в МСТ консоли имеют малую массу, трудно учесть массу молекул, адсорбированную на поверхности консоли.

10. Чему равна добротность (Q) колеблющейся консоли? Q – отношение запасенной энергии за один цикл колебаний $(\text{E}_\text{з})$ к потерям энергии за один цикл $(\text{E}_\text{р})$

а) $Q = \frac{\omega_0 m_{\text{эфф}}}{S_{\text{эфф}}}$

б) $Q = \sqrt{\frac{m_{\text{эфф}} \cdot \text{К}_{\text{эфф}}}{S_{\text{эфф}}}}$

в) $Q = \frac{\Delta\omega_0}{\omega_0}$

г) при наличии нескольких источников диссипации энергии $Q_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} Q_i$

Здесь ω_0 – резонансная частота, $\Delta\omega$ – резкость частот на уровне 0,707$\cdot\ \omega_0$ резонансной кривой.

11. Каким образом компенсируется влияние температуры на показания мембранного датчика давления?

а) используются составные мембраны с противоположными значениями ТКС;
б) буквально рядом изготавливаются два одинаковых датчика давления: один с открытой

Согласована на портале № 34940

внешнему давлению мембраной;
в) через мембрану пропускают постоянный ток, зная температурный коэффициент сопротивления вычисляют поправку;
г) при изменении температуры изменяются геометрические размеры, возникают механические напряжения, измеряя которые можно вычислить поправку.

12. Плоские конденсаторы с одной подвижной обкладкой используются:
а) в качестве датчика температуры;
б) в качестве электростатического двигателя;
в) в качестве датчика механических напряжений;
г) в качестве датчика изменения диэлектрической проницаемости.

13. В качеств сенсора температуры используются:
а) терморезисторы;
б) явление Пельтье;
в) изменение размера тел при изменении температуры;
г) изменение сопротивления металлов при изменении температуры.

14. В настоящее время разработано большое количество микромеханических ключей, изготавливаемых из алюминия и золота. Какова главная причина ограничения максимальной частоты срабатывания таких ключей?
а) масса;
б) момент инерции сечения;
в) эффект залипания;
г) малый коэффициент упругости.

15. Какое из приведенных ниже суждений справедливо для волоконных оптических гироскопов (ВОГ)?
а) эффект Саньяка, на основе которого работают ВОГ, обусловлен разной скоростью светового луча по направлению вращения платформы и против направления вращения
б) время запаздывания светового луча, движущегося по направлению вращения платформы с угловой скоростью Ω, по отношению к лучу движущемуся ему навстречу, $\Delta\tau = \frac{4\pi R_{k\Omega}^2}{c^2}$, где $R_к$ – радиус круга, в котором движутся световые лучи; С – скорость света. Время $\Delta\tau$ измеряется с помощью атомных (цезиевых) часов.
в) $\Delta\tau$ измеряется по сдвигу интерференционной картины относительно неподвижной платформы;
г) в ВОГ световые лучи не обязательно должны быть когерентными.
Ответ: в

16. Какое явление используется для регистрации внешнего поля?
а) сила Ампера;
б) эффект Холла;
в) гигантское магнитное сопротивление;
г) изменение сопротивления проводников в магнитном поле.

17. Какова физическая природа гигантского магнитного сопротивления (ГМС)?
а) увеличение электрического сопротивления проводников в магнитном поле;
б) суть ГМС в чередовании тонких ферромагнитных и немагнитных слоев;
в) сопротивление тонких магнитных слоев зависит от взаимной намагниченности электронов: при параллельной ориентации спинов электронов сопротивление минимально, при антипараллельной – максимально;
г) ГМС возникает только при протекании тока перпендикулярно плоскости ферромагнитных слоев.

18. Какое из приведенных ниже утверждений характеризует микромеханический гироскоп камертонного типа?

Согласована на портале № 34940

а) инерционные массы (ИМ) колеблются в противофазе вдоль оси *x* в плоскости *yx*. Возникающие при этом силы Кориолиса заставляют ИМ колебаться вокруг оси *y*.
б) силы Кориолиса возникают если платформа гироскопа начинает вращаться вокруг оси *y;* с угловой скоростью **Ω**, под действием этих сил ИМ колеблются в плоскости *zx*;
в) о частоте вращения **Ω** судят по изменению скорости колебаний ИМ вдоль оси *x*;
г) колебания ИМ вдоль оси *x* происходят под действием пьезодвигателей.

19. Укажите правильные утверждения, касающиеся принципа работы и конструкции газового хроматографа.
а) состав смеси газовой пробы определяется с помощью химических реакций;
б) основной деталью хроматографа является капиллярная система, представляющая собой канавку глубиной 40 мкм, шириной 200 мкм, длиной 1,5 м, вытравленную в кремнии. Разделение газов в этой канавке обусловлено различием в коэффициентах внутреннего трения газов, входящих в состав смеси;
в) чем больше трение, тем медленнее движется газ, тем позже он будет проходить через выходное отверстие – идентификация газа происходит по времени прохождения газа;
г) чем больше трение, тем меньше скорость движения газа мимо терморезистора, расположенного вблизи выходного отверстия, тем меньше температура терморезистора.

20. Укажите верное утверждение, касающееся электростатического микронасоса.
а) насос пригоден только для перекачки полярных жидкостей;
б) для работы насоса требуется однородное электрическое поле;
в) для работы насоса требуется переменное напряжение частотой $\cong 100$**Гц**;
г) насос пригоден для перекачки неполярных жидкостей с малым значением диэлектрической проницаемости.

14.1.2. Темы опросов на занятиях

Основные понятия сенсорных элементов МСТ.

Термоэлектричество. Резистивные сенсоры температуры. Полупроводниковые сенсоры температуры. Пьезоэлектрические датчики температуры. Бесконтактное измерение температуры. Использование сенсоров температуры в комбинации с другими преобразователями.

Каталитические сенсоры концентрации газов. Тепловые расходомеры. Термопневматические детекторы.

Элемент Холла. Двухколлекторный магнитотранзистор. Нанометровые магнитные сенсоры. Гигантское магнитное сопротивление.

Волоконный оптический гироскоп. Микромеханические гироскопы.

14.1.3. Зачёт

1. Объясните законы пропорциональной миниатюризации.
2. Тензорезисторы и их применение в сенсорных датчиках МСТ.
3. Технология объемной микрообработки при изготовлении сенсоров МСТ.
4. LIGA-технология при изготовлении сенсоров МСТ.
5. Технология поверхностной микрообработки при изготовлении сенсоров МСТ.
6. MUMPs-технология при изготовлении сенсоров МСТ.
7. SUMMiT-технология при изготовлении сенсоров МСТ.
8. Сенсоры температуры на основе термопар.
9. Волоконный оптический гироскоп.
10. Микромеханические гироскопы.
11. Емкостные сенсоры перемещений.
12. Пироэлектрические датчики температуры.
13. Устройство и принцип работы газового хроматографа.
14. Эффект Зеебека как датчик температуры.
15. Пьезорезистивный и электростатический актюаторы.
16. Принципы реализации сенсорных датчиков МСТ.

Согласована на портале № 34940

17. Взаимная связь физических свойств и явлений в кристаллах.
18. Особенности измерения параметров сенсорных датчиков МСТ.
19. Совместимость сенсорных датчиков различных типов.
20. Принципы построения мультисенсорных систем.

14.1.4. Темы докладов

1. Интегральное микромеханическое реле. Расчет частоты срабатывания реле.
2. Микрозеркала с электростатическими актюаторами.
3. Микрозеркала с гребенчатыми электростатическими актюаторами.
4. Планарные электростатические микродвигатели.
5. Планарные электродвигатели на основе тонких сегнетоэлектрических пленок.
6. Пьезорезистивные и пьезоэлектрические чувствительные элементы.
7. Емкостные чувствительные элементы.
8. Чувствительные элементы на поверхностных акустических волнах.
9. Сенсоры температуры на основе термопар.
10. Сенсоры магнитного поля.
11.Сенсоры угловых скоростей. Микромеханические сенсоры угловых скоростей.
12. Волоконно-оптический гироскоп.
13. Микромеханические акселерометры L-типа.
14. Микромеханические акселерометры R-типа.
15. Акселерометры с нагреваемой пластиной и с нагреваемым газом.
16. Индуктивные элементы микросхем, индукторы из лиандров.

14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на

Согласована на портале № 34940

подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 34940