

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Владелец: Семенов Павел Васильевич

Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ

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: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**

Кафедра: **Кафедра физической электроники (ФЭ)**

Курс: **4**

Семестр: **7**

Учебный план набора 2023 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 7 семестр | Всего | Единицы |
|--|-----------|-------|---------|
| Лекционные занятия | 26 | 26 | часов |
| Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 | часов |
| в т.ч. в форме практической подготовки | 16 | 16 | часов |
| Самостоятельная работа | 48 | 48 | часов |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| Общая трудоемкость | 144 | 144 | часов |
| (включая промежуточную аттестацию) | 4 | 4 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестация | Семестр |
|--------------------------------|---------|
| Экзамен | 7 |

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Формирование знаний в области методов формирования и физических принципов функционирования компонентов микро- и наносистемной техники.

1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение физических основ функционирования устройств микро- и наносистемной техники.

2. Изучение физических основ специфических методов изготовления устройств микро- и наносистемной техники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Модуль дисциплин: Модуль направленности (профиля) (major).

Индекс дисциплины: Б1.В.02.14.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|-----------------------------------|---|
| Универсальные компетенции | | |
| - | - | - |
| Общепрофессиональные компетенции | | |
| - | - | - |
| Профессиональные компетенции | | |

| | | |
|--|---|---|
| ПК-1. Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий | ПК-1.1. Знает основные физические и математические модели объектов микро- и наносистемной техники | Знает основные физические и математические модели, описывающие функционирование изделий микро- и наносистемной техники |
| | ПК-1.2. Знает основные программные средства для физического и математического моделирования приборов и устройств микро- и наносистемной техники | Знает основные программные пакеты, которые используются для физико-математического моделирования устройств микро- и наносистемной техники |
| | ПК-1.3. Умеет представлять объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей | Умеет представлять объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей |
| | ПК-1.4. Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования | Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования: построение базовых моделей, расчёт их параметров, определение граничных и оптимальных режимов их работы |
| ПК-2. Готов проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники | ПК-2.1. Знает методы синтеза наноматериалов и компонентов | Знает основные физические и химические методы синтеза наноматериалов и компонентов изделий микро- и наносистемной техники |
| | ПК-2.2. Умеет выбрать и применить метод анализа материалов и компонентов микрои наносистемной техники | Умеет выбрать и применить адекватный метод анализа материалов и компонентов микро- и наносистемной техники для получения наиболее точной информации о материалах изделия и технических характеристик компонента |
| | ПК-2.3. Владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований | Владеет основными методиками постановки и проведения экспериментальных исследований в области проектирования, изготовления и тестирования объектов нано- и микросистемной техники |

| | | |
|--|---|--|
| ПК-6. Готов рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники | ПК-6.1. Знает основные методики проектирования и расчета компонентов нано- и микросистемной техники | Знает основные методики проектирования и расчета компонентов нано- и микросистемной техники на основе физико-математических моделей этих объектов и с применением программных средств проектирования и расчета |
| | ПК-6.2. Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники | Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники на основе физико-математических моделей этих объектов и с применением программных средств расчета |
| | ПК-6.3. Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники | Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники на основе существующих физико-химических моделей этих компонентов |

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|-------------|-----------|
| | | 7 семестр |
| Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего | 60 | 60 |
| Лекционные занятия | 26 | 26 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 |
| Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего | 48 | 48 |
| Подготовка к контрольной работе | 6 | 6 |
| Подготовка к тестированию | 12 | 12 |
| Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 30 | 30 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость (в часах) | 144 | 144 |
| Общая трудоемкость (в з.е.) | 4 | 4 |

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

| Названия разделов (тем) дисциплины | Лек. зан., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб. | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|------------------------------------|--------------|---------------|-----------|--------------|----------------------------|-------------------------|
| | | | | | | |
| 7 семестр | | | | | | |

| | | | | | | |
|--|----|----|----|----|-----|------------------|
| 1 Чувствительные элементы микросистемной техники | 8 | 6 | 8 | 14 | 36 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | 8 | 4 | 4 | 15 | 31 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| 3 Акселерометры в микросистемной технике | 4 | 4 | 4 | 15 | 27 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| 4 Актюаторы в микросистемной технике | 6 | 4 | - | 4 | 14 | ПК-1, ПК-6 |
| Итого за семестр | 26 | 18 | 16 | 48 | 108 | |
| Итого | 26 | 18 | 16 | 48 | 108 | |

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) | Трудоемкость (лекционные занятия), ч | Формируемые компетенции |
|--|---|--------------------------------------|-------------------------|
| 7 семестр | | | |
| 1 Чувствительные элементы микросистемной техники | Основные понятия МСТ. Принципиальное отличие изделий МСТ от интегральных схем. | 2 | ПК-1 |
| | Синтез материалов и устройств микросистемной техники. Физические методы исследования материалов и материалов и объектов микросистемной техники. | 6 | ПК-2 |
| | Итого | 8 | |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | Пьезорезистивные и пьезоэлектрические чувствительные элементы (ЧЭ). Резонансные ЧЭ, ЧЭ на поверхностных акустических волнах (ПАВ). | 4 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Сенсоры температуры, давления, магнитного поля, угловых скоростей. | 2 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Гироскопы: волоконно-оптический гироскоп, микромеханический сенсор угловых скоростей. | 2 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Итого | 8 | |
| 3 Акселерометры в микросистемной технике | Микромеханические акселерометры L-типа, микромеханические акселерометры R-типа. Акселерометры с нагревательной пластиной, акселерометры с нагревательным газом. | 4 | ПК-1, ПК-6 |
| | Итого | 4 | |

| | | | |
|--------------------------------------|---|----|------------|
| 4 Актюаторы в микросистемной технике | Актюаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи. Интегральные микрозеркала. | 4 | ПК-1, ПК-6 |
| | Интегральные микродвигатели. Электростатические планарные микродвигатели. | 2 | ПК-1, ПК-6 |
| | Итого | 6 | |
| Итого за семестр | | 26 | |
| Итого | | 26 | |

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|--|--|-----------------|-------------------------|
| 7 семестр | | | |
| 1 Чувствительные элементы микросистемной техники | Методы исследования объектов микросистемной техники. Параметры и характеристики МСТ. Термины и буквенные обозначения параметров МСТ. | 2 | ПК-1, ПК-2 |
| | Прямой и обратный пьезоэффекты. Чувствительные элементы МСТ на пьезоэффекте. Емкостные Чувствительные элементы. Чувствительные элементы на ПАВ. | 2 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Интегральные микрозеркала: одноосные и двуосные - принцип действия и конструкции. | 2 | ПК-1, ПК-6 |
| | Итого | 6 | |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | Физические основы датчиков температуры: эффекты Пельтье и Зеебека. Датчики магнитного поля: прямые - непосредственное измерение магнитной индукции, косвенные - обнаружение электрического поля по его магнитному полю, регистрация механического перемещения при воздействии магнитного поля. | 2 | ПК-1, ПК-6 |
| | Датчики угловых скоростей - гироскопы: волоконно-оптические и микромеханические. Конструкции микромеханических гироскопов. | 2 | ПК-1, ПК-6 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Акселерометры в микросистемной технике | Микромеханические сенсоры линейных скоростей - микромеханические акселерометры: L-типа и R-типа: конструкции и принципы действия. | 2 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Акселерометры с нагреваемой пластиной и с нагреваемым газом. | 2 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Итого | 4 | |

| | | | |
|--------------------------------------|---|----|------------|
| 4 Актюаторы в микросистемной технике | Актюаторы. Микродвигатели: электростатические и пьезоэлектрические. | 2 | ПК-1, ПК-6 |
| | Микромеханические ключи: термические, пьезоэлектрические, электростатические, магнитные - принцип действия и конструкции. | 2 | ПК-1, ПК-6 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 18 | |
| Итого | | 18 | |

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|--|--|-----------------|-------------------------|
| 7 семестр | | | |
| 1 Чувствительные элементы микросистемной техники | Исследование характеристик пьезодатчика | 4 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Исследование характеристик МЭМС-гироскопа | 4 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Итого | 8 | |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | Исследование динамических характеристик кантилевера | 4 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Акселерометры в микросистемной технике | Исследование конструкции и характеристик струнного акселерометра | 4 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 16 | |
| Итого | | 16 | |

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов (тем) дисциплины | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|--|--|-----------------|-------------------------|---------------------|
| 7 семестр | | | | |
| 1 Чувствительные элементы микросистемной техники | Подготовка к контрольной работе | 6 | ПК-2 | Контрольная работа |
| | Подготовка к тестированию | 2 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Тестирование |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 6 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Лабораторная работа |
| | Итого | 14 | | |

| | | | | |
|---|--|----|------------------|---------------------|
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | Подготовка к тестированию | 3 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Тестирование |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 12 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Лабораторная работа |
| | Итого | 15 | | |
| 3 Акселерометры в микросистемной технике | Подготовка к тестированию | 3 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Тестирование |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 12 | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Лабораторная работа |
| | Итого | 15 | | |
| 4 Актюаторы в микросистемной технике | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-1, ПК-6 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| Итого за семестр | | 48 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 84 | | |

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Формируемые компетенции | Виды учебной деятельности | | | | Формы контроля |
|-------------------------|---------------------------|------------|-----------|-----------|--|
| | Лек. зан. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
| ПК-1 | + | + | + | + | Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен |
| ПК-2 | + | + | + | + | Контрольная работа, Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен |
| ПК-6 | + | + | + | + | Лабораторная работа, Тестирование, Экзамен |

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

| Формы контроля | 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 |
|---------------------|--|---|---|------------------|
| 7 семестр | | | | |
| Контрольная работа | 10 | 0 | 0 | 10 |
| Лабораторная работа | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Тестирование | 15 | 15 | 0 | 30 |
| Экзамен | | | | 30 |

| | | | | |
|--------------------------|----|----|----|-----|
| Итого максимум за период | 25 | 25 | 20 | 100 |
| Нарастающим итогом | 25 | 50 | 70 | 100 |

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

| Баллы на дату текущего контроля | Оценка |
|---|--------|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 2 |

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка | 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 | E (посредственно) |
| | 60 – 64 | |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Фетисов, Л. Ю. Введение в микросистемную технику : учебное пособие / Л. Ю. Фетисов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 82 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/182575>.

2. Мухачев В.А. Физические основы микро- и наносистемной техники. – Учебное пособие.- Томск: ТУСУР, 2016. - 192 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://miel.tusur.ru/dwn/umo/id/1636e65f6560/f/fominst_lec.pdf.

7.2. Дополнительная литература

1. Смирнов, В. И. Нанозлектроника, нанофотоника и микросистемная техника : учебное пособие / В. И. Смирнов. — Ульяновск : УлГТУ, 2017. — 280 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/170655>.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Солдатов, Андрей Алексеевич. Получение и обработка сигналов первичных преобразователей на основе MEMS-датчиков : учебно-методическое пособие. - Томск : Издательство ТУСУРа , 2021. - 104 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 5 экз.).

2. Мухачёв В.А. Физические основы микро- и наносистемной техники: учебно-методическое пособие. - Томск: ТУСУР, 2014. - 18 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://miel.tusur.ru/dwn/umo/id/1666c48f1521/f/fominst_pract.pdf.

3. Мухачев В.А. Физические основы микро- и наносистемной техники. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». - Томск: ТУСУР, 2015. - 23 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://miel.tusur.ru/dwn/umo/id/1607ee851622/f/fominst_lab.pdf.

7.3.2. 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.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh>.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. 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 достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория наноэлектроники и микросистемной техники: учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 115а ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Осциллограф АСК 1021;
- Генератор 3-34;
- Вольтметр В7-21;
- Вольтметр В7-26;
- Блок питания Б5-47 (2 шт.);
- Блок питания Б5-10;

- Микроскоп МБС – 9 (2 шт.);
- Источник питания НУ 3003 (2 шт.);
- Источник питания UT5003ED (2 шт.);
- Измеритель мощности светового потока TES-133;
- Лабораторные стенды: «Элементы наноэлектроники: оптоэлектронные приборы и устройства», «Элементы наноэлектроники: диоды», «Элементы наноэлектроники: полевые транзисторы»;
- Источник питания GPS 3030 DD;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Виртуальная лабораторная работа «Исследование динамических характеристик кантилевера»;
- Виртуальная лабораторная работа «Исследование конструкции и характеристик струнного акселерометра»;

8.4. 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, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

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

8.5. 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 зрения** 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.

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.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формируемые компетенции | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|--|-------------------------|---------------------|--|
| 1 Чувствительные элементы микросистемной техники | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Контрольная работа | Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ |
| | | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 3 Акселерометры в микросистемной технике | ПК-1, ПК-2, ПК-6 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 4 Актюаторы в микросистемной технике | ПК-1, ПК-6 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

| Оценка | Баллы за ОМ | Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения | | |
|--------|-------------|---|-------|---------|
| | | знать | уметь | владеть |
| | | | | |

| | | | | |
|----------------------------|--|---|---|--|
| 2 (неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов | отсутствие знаний или фрагментарные знания | отсутствие умений или частично освоенное умение | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков |
| 3 (удовлетворительно) | от 60% до 69% от максимальной суммы баллов | общие, но не структурированные знания | в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение | в целом успешное, но не систематическое применение навыков |
| 4 (хорошо) | от 70% до 89% от максимальной суммы баллов | сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков |
| 5 (отлично) | ≥ 90% от максимальной суммы баллов | сформированные систематические знания | сформированное умение | успешное и систематическое применение навыков |

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

| Оценка | Формулировка требований к степени компетенции |
|----------------------------|--|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне ориентирования , представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |
| 3 (удовлетворительно) | Знать и уметь на репродуктивном уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях. |
| 4 (хорошо) | Знать, уметь, владеть на аналитическом уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения. |
| 5 (отлично) | Знать, уметь, владеть на системном уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины. |

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

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. 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;
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;
г) именно для изготовления изделий МСТ стали использовать жертвенные слои.
3. Что характеризует число Рейнольдса (Re)?
- а) 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.
4. 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 микротрибологии жидкое трение существенно уменьшает силу трения.
5. Под действием внешней силы консольная балка изгибается. По закону Гука внешней силе противодействует сила упругости. От каких параметров балки зависит жесткость балки?
- а) только от модуля Юнга материала балки и длины;
б) от момента инерции сечения балки;
в) от момента инерции сечения и модуля Юнга;
г) зависит от всего вышеперечисленного.
6. 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 внешней 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.
7. 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.
8. В качестве сенсора температуры используются:
- а) явление Зеебека;
б) явление Пельтье;
в) изменение размера тел при изменении температуры;
г) изменение сопротивления металлов при изменении температуры.
9. 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.
10. 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.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Объясните законы пропорциональной миниатюризации.
2. Тензорезисторы и их применение в МСТ.
3. Микромеханические ключи.
4. Пьезоэлектрические микродвигатели.
5. Возможные применения электростатических диэлектрических планарных микродвигателей.
6. Технология объемной микрообработки.
7. Волоконный оптический гироскоп.
8. MUMPs и SUMMIT - технологии.
9. Емкостные датчики перемещений.
10. Микромеханические гироскопы.
11. Пирозлектрические датчики излучения.
12. Устройство и принцип работы газового хроматографа.
13. Эффект Зеебека как датчик температуры.
14. Пьезорезистивный и электростатический актюаторы.
15. Особенности действия сил трения в микро- и нанодиапазоне размеров элементов МСТ.
16. Интегральные микрзеркала.
17. Двухколлекторный магнитотранзистор.
18. Полупроводниковые сенсоры температуры.
19. Электростатические воздушные планарные микродвигатели.
20. Взаимная связь физических свойств и явлений в кристаллах.

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. Вариант 1
 - А) Выведите уравнение изгиба кантилевера атомно-силового микроскопа на основе модели консольной балки.
 - Б) Объясните законы пропорциональной миниатюризации.
2. Вариант 2
 - А) Перечислите основные методы детектирования магнитного поля в микросистемной технике и схематически изобразите принцип действия соответствующих датчиков.
 - Б) Объясните особенности действия сил трения в микро- и нанодиапазоне размеров элементов МСТ.
3. Вариант 3
 - А) Опишите любую из конструкций микромеханического гироскопа, сделав поясняющий чертёж и принципиальную электрическую схему, поясните принцип действия.
 - Б) Пьезорезистивные и пьезоэлектрические чувствительные элементы.
4. Вариант 4
 - А) Опишите конструкции и принцип действия микромеханических акселерометров М- и L-типов.
 - Б) Чувствительные элементы на поверхностных акустических волнах.
5. Вариант 5
 - А) Опишите конструкции и принцип действия электростатических и пьезоэлектрических микродвигателей.
 - Б) В чем заключается принцип действия емкостных чувствительных элементов? Сделайте поясняющую схему с необходимыми формулами

9.1.4. Темы лабораторных работ

1. Исследование характеристик пьезодатчика

2. Исследование характеристик МЭМС-гироскопа
3. Исследование динамических характеристик кантилевера
4. Исследование конструкции и характеристик струнного акселерометра

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

- если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

- осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. 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 9.4.

Таблица 9.4 – 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, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

9.4. 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 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.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 140 от «31» 1 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|-------------------------------------|-------------------|--|
| Заведующий выпускающей каф. ФЭ | П.Е. Троян | Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49- aef0-5584d3fd4820 |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | П.Е. Троян | Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49- aef0-5584d3fd4820 |
| И.О. начальника учебного управления | И.А. Лариошина | Согласовано, c3195437-a02f-4972- a7c6-ab6ee1f21e73 |

ЭКСПЕРТЫ:

| | | |
|------------------------------|----------------|--|
| Доцент, каф. ФЭ | В.В. Каранский | Согласовано, c2e55ae8-0332-4ed9- a65a-afbb92539ee8 |
| Заведующий кафедрой, каф. ФЭ | П.Е. Троян | Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49- aef0-5584d3fd4820 |

РАЗРАБОТАНО:

| | | |
|--------------------|------------------|--|
| Профессор, каф. ФЭ | А.В. Мостовщиков | Разработано, 12b8ccf2-4949-4991- b8b4-96d4ef60ed2d |
|--------------------|------------------|--|