

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет
Кафедра физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
Мехатроника и микроэлектромеханика

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленности (профили): твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения
очная

Нижний Новгород, 2023

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Мехатроника и микроэлектромеханика» относится к дисциплинам по выбору формируемой участниками образовательных отношений части основной образовательной программы по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Для усвоения данного курса необходимо изучить такие дисциплины в рамках образовательной программы бакалавра как «Общая физика. Механика», «Теоретические основы электро- и радиотехники», «Теоретическая механика», «Электричество и магнетизм» базовой части «Математического и естественнонаучного цикла». Освоение данной дисциплины обязательно и предполагается в 6-м семестре.

Целями освоения дисциплины являются формирование знаний о физических принципах функционирования, характеристиках, конструкциях, областях применения и методах проектирования мехатронных и микроэлектромеханических систем.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств	ПК-1.1. Знает физические явления и процессы, лежащие в основе работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники. ПК-1.2. Умеет применять фундаментальные представления о физических	знать: основные принципы построения устройств микросистемной техники, принципы работы элементов микросистемной техники, основные виды сенсоров и принципы их работы, основные виды актюаторов и принципы их работы, аксоны классической электромеханики, системы управления мехатронных систем. уметь: производить анализ и	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму. Фонд тестовых

электроники и наноэлектроники	явлениях и процессах для достижения требуемых функциональных качеств приборов и устройств электроники и наноэлектроники	<p>делать количественные оценки параметров микромеханических систем, изучать оригинальные научные работы и обзоры в области мехатроники и микроэлектромеханики, объяснять принцип работы различных мехатронных систем.</p> <p>овладеть навыками применения полученных знаний для решения конкретных задач, возникающих как в научно-исследовательской работе, так и в производственно-технологическом процессе.</p>	заданий
-------------------------------	---	---	---------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	16
- контроль самостоятельной работы	2
самостоятельная работа	22 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	6 семестр – экзамен

Структура дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации	Всего (часы)	В ТОМ ЧИСЛЕ					
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них					
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Введение	8	4	2			6	2
Мехатронные системы	8	4	2			6	2
Актуаторы	10	4	4			8	2
Сенсоры	10	4	2			6	4
Масштабирование мехатронных систем	10	4	2			6	4
Механические свойства твердых тел	10	4	2			6	4
Законы классической электромеханики	7	4	1			5	2
Разработка и моделирование мехатронных и микроэлектромеханических систем	7	4	1			5	2
Итого	70	32	16			48	22
Промежуточная аттестация - экзамен	36				2		

Содержание разделов дисциплины

1. Введение.

Введение в мехатронику. История развития мехатроники.

2. Мехатронные системы.

Определение мехатронных систем. Структура и принципы интеграции в мехатронике. Обзор основных компонентов мехатронных систем (актюаторы, сенсоры, система управления).

3. Актюаторы.

Системы микро перемещений. Термоактюаторы и термосенсоры. Электростатические актюаторы. Электромагнитные актюаторы. Пьезоэлектрические системы микроперемещений. Пьезомагнитные актюаторы. Актюаторы на основе сплавов с эффектом памяти формы. Организация перемещений при помощи биморфных элементов (термо, пьезо). Мультиморфные элементы. Шаговые двигатели, микродвигатели вращения. Микродвигатели постоянного и переменного тока. Гидравлические и пневматические приводы.

4. Сенсоры.

Виды сенсоров. Сенсоры положения и приближения. Сенсоры скорости. Сенсоры ускорения. Сенсоры силы. Сенсоры крутящего момента и мощности. Сенсоры потока жидкости и газа. Температурные сенсоры. Сенсоры освещенности и элементы компьютерного видения мехатронных систем. Химические сенсоры: электрохимические, термодаталитические, адсорбционные преобразователи; датчики состава жидкостей и газов; датчики влажности. Биологические сенсоры.

5. Масштабирование мехатронных систем.

Масштабирование микромеханических систем. Масштабирование консольной балки, электростатического актюатора, термосенсора.

6. Механические свойства твердых тел.

Основные виды микромеханических элементов. Механические свойства материалов. Тензоры механического напряжения и деформации». Закон Гука. Диаграмма растяжений. Момент инерции сечения. Коэффициент жесткости. Уравнение движения. Механические нагрузки.

7. Законы классической электромеханики.

Законы электромеханики. Системы управления мехатронных систем.

8. Разработка и моделирование мехатронных и микроэлектромеханических систем.

Методы численного моделирования мехатронных и микроэлектромеханических систем. Метод конечных элементов. Обзор программных средств моделирования и анализа микроэлектромеханических систем.

Перечень лабораторных работ:

1. Исследование конструкции и характеристик микроакселерометров (емкостного, тензорезистивного, струнного).
2. Исследование конструкции и расчет перемещений консольной балки под действием внешней силы.
3. Исследование масштабирования консольной балки, электростатического актюатора, термосенсора.

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме, в форме практических занятий и в форме лабораторных практикумов, позволяющих формировать у студентов навыки применения методов расчёта и исследования мехатронных систем и микроэлектромеханических элементов и устройств.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся.

Самостоятельная работа студентов предусматривает самостоятельное выполнение расчетных заданий по курсу, изучение рекомендованной литературы и подготовку к экзамену. Для контроля успеваемости по итогам освоения дисциплины «Мехатроника и микроэлектромеханика» используются приведенные ниже вопросы:

Вопросы для контроля

1. Мехатронные системы. Компоненты микросистемной техники
2. Сенсоры
3. Статические параметры датчика
4. Динамические параметры датчика
5. Тензорезистивные преобразователи.
6. Пьезоэлектрические преобразователи.
7. Емкостные преобразователи.
8. Термоэлектрические сенсоры и датчики на их основе
9. Пирозлектрические преобразователи.
10. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения
11. Датчики давления
12. Датчики расхода и пульсаций
13. Датчики смещения
14. Датчики силы
15. Датчики ускорения
16. Микрогирометры, микрофоны
17. Датчики: температуры, потока, уровня жидкости, вакуума
18. Термометры, анемометры, болометры, термисторы, кондуктометры
19. Оптические сенсоры и датчики на их основе: Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы
20. Датчики оптического поглощения
21. Датчики смещения и положения на основе оптических сенсоров
22. Гука. Диаграмма растяжений. Момент инерции сечения.
23. Модель Герца
24. Жесткость микромеханических элементов при изгибе
25. Актюаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи.
26. интегральные микромеханические реле.
27. Оптические компоненты МСТ.
28. Гребенчатый актюатор
29. Планарные электростатические микродвигатели
30. Акселерометры L, R- типа и с нагреваемой пластиной.

Перечень лабораторных работ:

1. Исследование конструкции и характеристик микроакселерометров.
 2. Исследование конструкции и расчет перемещений консольной балки под действием внешней силы.
 3. Исследование масштабирования консольной балки, электростатического актюатора, термосенсора.
6. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых учувствует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и несущественным недочетом, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	я от ответа			недочетами			
--	-------------	--	--	------------	--	--	--

6.2. Описание шкал оценивания

При выставлении экзаменационной оценки, т.е. в ходе промежуточной аттестации, применяется семибальная шкала, которая по окончании обучения (в дипломе бакалавра) трансформируется в пятибалльную. Обе шкалы привязаны к 100-бальной системе, в которой баллы набираются в ходе текущего контроля при сдаче допусков и отчетов по лабораторным работам, при проверке рефератов и непосредственно на экзамене.

За одну полностью выполненную лабораторную работу или реферат начисляется максимум 10 баллов. Поскольку за семестр необходимо выполнить три работы и один реферат, то всего за семестр можно набрать не более 40 баллов.

По итогам освоения дисциплины сдается экзамен. Экзаменационный билет содержит два вопроса. За ответ на каждый из вопросов начисляется максимум 30 баллов. Итого с учётом успешного выполнения лабораторных работ можно набрать максимум 100 баллов.

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Баллы	Семибал ная шкала	Описание семибальной шкалы	Пятибал ная шкала
90-100	5,5 Превосх одно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.	5 отлично
80-89	5 отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.	
75-79	4,5 очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.	4 хорошо

70-74	4 хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).	
60-69	3 удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.	3 удовлетворительно
40-59	2 неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.	2 неудовлетворительно
<40	1 плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.	1 плохо

6.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код формируемой компетенции
Мехатронные системы. Компоненты микросистемной техники	ПК-1
Сенсоры	ПК-1
Статические параметры датчика	ПК-1
Динамические параметры датчика	ПК-1
Тензорезистивные преобразователи	ПК-1
Пьезоэлектрические преобразователи	ПК-1
Емкостные преобразователи	ПК-1
Термоэлектрические сенсоры и датчики на их основе	ПК-1
Пироэлектрические преобразователи	ПК-1
Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения	ПК-1
Датчики давления	ПК-1
Датчики расхода и пульсаций	ПК-1
Датчики смещения	ПК-1
Датчики силы	ПК-1
Датчики ускорения	ПК-1
Микрогироскопы, микрофоны	ПК-1

Датчики: температуры, потока, уровня жидкости, вакуума	ПК-1
Термопары, анемометры, болометры, термисторы, кондуктометры	ПК-1
Оптические сенсоры и датчики на их основе: Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы	ПК-1
Датчики оптического поглощения	ПК-1
Датчики смещения и положения на основе оптических сенсоровЗакон	ПК-1
Гука. Диаграмма растяжений. Момент инерции сечения	ПК-1
Модель Герца	ПК-1
Жесткость микромеханических элементов при изгибе	ПК-1
Актуаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи	ПК-1
интегральные микромеханические реле	ПК-1
Оптические компоненты МСТ	ПК-1
Гребенчатый актуатор	ПК-1
Планарные электростатические микродвигатели	ПК-1
Акселерометры L, R- типа и с нагреваемой пластиной	ПК-1

6.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции

Вопрос 1.

Часть микросистемы или функционального микроустройства, реализующая определенную функцию в составе функционального устройства или микросистемы, которая не может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации - это

Варианты ответа:

1. Элемент микросистемы.
2. Изделие микросистемной техники.
3. Интегральная микросистема.
4. Полная микросистема.

Шкала оценки:

1 балл – ответ (1);

0 баллов – ответы (2, 3, 4).

Вопрос 2.

Микросистема, не выполняющая одну из функций приема, преобразования, хранения, передачи информации, энергии и движения и выработки управляющего воздействия в требуемых режимах и условиях эксплуатации и воздействия на окружающую среду - это

Варианты ответа:

1. Неполная микросистема.
2. Изделие микросистемной техники.
3. Интегральная микросистема.
4. Полная микросистема.

Шкала оценки:

1 балл – ответ (1);

0 баллов – ответы (2, 3, 4).

Вопрос 3.

Микросистема, микроустройства и элементы которой нераздельно выполнены и соединены в объеме и (или) на поверхности кристалла - это

Варианты ответа:

1. Элемент микросистемы.
2. Изделие микросистемной техники.
3. Интегральная микросистема.
4. Полная микросистема.

Шкала оценки:

1 балл – ответ (3);

0 баллов – ответы (1, 2, 4).

Вопрос 4.

Что из перечисленного не является статическим параметром датчика?

Варианты ответа:

1. Чувствительность.
2. Разрешение
3. Диапазон измеряемых значений
4. Время нарастания

Шкала оценки:

1 балл – ответ (4);

0 баллов – ответы (1, 2, 3).

Вопрос 5.

Выберете из списка термоэлектрический сенсор.

Варианты ответа:

1. Термопара
2. Микрогирометр
3. Датчик силы
4. Магнитодиод

Шкала оценки:

1 балл – ответ (1);

0 баллов – ответы (2, 3, 4).

Вопрос 6.

Какой сенсор характеризуется линейным перемещением инерционной массы под действием внешнего линейного ускорения?

Варианты ответа:

1. Термоанемометр
2. Болومتر
3. Микромеханический акселерометр L-типа
4. Волоконно-оптический гироскоп

Шкала оценки:

1 балл – ответ (3);

0 баллов – ответы (1, 2, 4).

6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя вопросы, задаваемые в ходе лабораторных работ и практических занятий.

Вопросы к экзамену по дисциплине «Мехатроника и микроэлектромеханика»

1. Мехатронные системы. Компоненты микросистемной техники
2. Сенсоры
3. Статические параметры датчика
4. Динамические параметры датчика
5. Тензорезистивные преобразователи.
6. Пьезоэлектрические преобразователи.
7. Емкостные преобразователи.
8. Термоэлектрические сенсоры и датчики на их основе
9. Пироэлектрические преобразователи.
10. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения
11. Датчики давления
12. Датчики расхода и пульсаций
13. Датчики смещения
14. Датчики силы
15. Датчики ускорения
16. Микрогирометры, микрофоны
17. Датчики: температуры, потока, уровня жидкости, вакуума
18. Термометры, анемометры, болометры, термисторы, кондуктометры
19. Оптические сенсоры и датчики на их основе: Фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы
20. Датчики оптического поглощения
21. Датчики смещения и положения на основе оптических сенсоров Закон
22. Гука. Диаграмма растяжений. Момент инерции сечения.
23. Модель Герца
24. Жесткость микромеханических элементов при изгибе

25. Актюаторные элементы МСТ. Микромеханические ключи.
26. интегральные микромеханические реле.
27. Оптические компоненты МСТ.
28. Гребенчатый актюатор
29. Планарные электростатические микродвигатели
30. Акселерометры L, R- типа и с нагреваемой пластиной.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Мехатроника / Исии Т., Симояма И., и др., пер. с яп. –М.: Мир, 1988.
2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. Учебное пособие./ Тул. Гос. университет. - Тула, 2002 г. – 392с.
3. Механцев Е.Б., Лысенко И.Е. Физические основы микросистемной техники: Учеб. пособие.– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.– 54 с.
4. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника: Мировые достижения-2008 г.: сборник / под ред. Мальцева П.П. - М.: Техносфера, 2008. - 430 с.
5. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. Пособие для аспирантов вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Машиностроение, 2007. -256 с.
6. Введение в микромеханику. Онами М., Ивасмидзу С., Гэнка К., Сиодзава К., Танака К. / Под ред. Онами М. – М.: Мир, 1987.
7. Гридчин В.А., Драгунов В.П. Физика микросистем: Учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. — 416 с.
8. Гридчин В.А., Драгунов В.П. Физика микросистем: Учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.
9. Подураев Ю.В. Основы мехатроники: Учебн. пособие. –М.: МГТУ “СТАНКИН”, 2000 –80 с.

б) дополнительная литература:

1. Смирнов А.Б. Мехатронные системы микроперемещений. Мехатроника, Автоматизация, Управление, № 6, 2004.
2. В.А. Лопота, Е.И. Юревич. Миниатюризация и интеллектуализация техники – глобальная тенденция XXI века. Микросистемная техника, №1, 2003.
3. Дьяченко В. А., Смирнов А. Б. Пьезоэлектрические системы мехатроники. Мехатроника, Автоматизация, Управление, № 2, 2002.
4. Юревич Е. И., Игнатова Е. И. Основные принципы мехатроники. Мехатроника, Автоматизация, Управление, №3, 2006.
5. Введение в микромеханику. Онами М., Ивасмидзу С., Гэнка К., Сиодзава К., Танака К. / Под ред. Онами М. – М.: Мир, 1987.
6. Лучинин В.В., Степанов Ю.И., Телец В.А. Микросистемная техника. Прикладные области применения: Учебно-методическая разработка /МИФИ. — М, 2004.-100 с.
7. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике, М. «Техносфера», 2005 г.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор:

ст. преподаватель

кафедры физики полупроводников

электроники и наноэлектроники

Н.О.Кривулин

Рецензент:

заведующий кафедрой

теоретической физики, д.ф.-м.н.

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой

физики полупроводников

электроники и наноэлектроники

д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ

А.А. Перов