Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
к.т.н. Стрельцов С. А.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ НЕКВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
31.08.2026
Владелец: к.т.н. Стрельцов С. А.
Срок действия: не ограничен
Адрес хранения электронного документа:
https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Микроэлектромеханические системы

Образовательная программа: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, магистерская программа: Электронные и микроэлектронные системы

Курс: 1, семестр : 1

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	**Вид деятельности**	**1**
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	54
4	Лекции, час.	34
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	16
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	9
8	из них практической подготовки, час.	10
9	Аттестация, час.	2
10	Консультации, час.	2
11	Самостоятельная работа, час.	90
12	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ(Р)/реферат, подготовка к контрольной работе)	Р
13	Вид аттестации	3

Новосибирск 2026

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

ФГОС введен в действие приказом №959 от 22.09.2017 г. , дата утверждения: 09.10.2017 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, формируемая участниками образовательных отношений

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, 31.08.2026

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 8 от 31.08.2026

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Остертак Д. И.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Харитонов С. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Группа	Компетенции
	Индикаторы достижения компетенций
Профессиональные компетенции	ПК-11/НА Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию
	ПК-11/НА. 3 Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники
Профессиональные компетенции	ПК-12/НА Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
	ПК-12/НА. 2 Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования
Профессиональные компетенции	ПК-13/НА Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации.
	ПК-13/НА. 1 Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований
Профессиональные компетенции	ПК-14/НА Способен анализировать и выбирать перспективные технологические процессы и оборудование для производства изделий микроэлектроники
	ПК-14/НА. 2 Умеет применять цифровые технологии в производстве изделий микроэлектроники

2. Требования НГТУ к планируемым результатам обучения, соотнесенным с индикаторами достижения компетенций

Таблица 2.1

Индикаторы достижения компетенций	Формы организации занятий
Результаты обучения	
ПК-11/НА. 3 Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники	
владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК-12/НА. 2 Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования	
знать физико-химические основы процессов, протекающих в различных нано- и микросистемах	Лекции; Самостоятельная работа
знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники	Лекции; Самостоятельная работа
ПК-13/НА. 1 Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований	
знать основные механизмы физических явлений, происходящих в микроэлектромеханических системах	Лекции; Самостоятельная работа
знать физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования нано- и микроструктур	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК-14/НА. 2 Умеет применять цифровые технологии в производстве изделий микроэлектроники	
уметь применять современные методы расчета и анализа и микросистем	Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 1					

Дидактическая единица: Технологические особенности изготовления МЭМС					
1. Особенности изготовления МЭМС: поверхностная и объёмная микрообработка.	1	0	0	ПК-12/НА.2	Лекция
Дидактическая единица: МЭМС акселерометры					
2. Акселерометры. Принцип работы. Уравнение акселерометра. Частотная характеристика.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
3. Амплитудно-частотная характеристика акселерометра. Фазочастотная характеристика.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
4. Импульсное воздействие на акселерометр. Слабое, критическое и сильное демпфирование.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
5. Ступенчатое воздействие на акселерометр. Слабое, критическое и сильное демпфирование.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
6. Силовое возбуждение колебаниями акселерометра. Слабое, критическое и сильное демпфирование.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
7. Коммерческие акселерометры.	1	0	0	ПК-13/НА.1	Лекция
Дидактическая единица: Ограничивающие факторы и явления в МЭМС					
8. Нелинейные колебания. Нелинейные упругие силы. Свободные незатухающие колебания.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
9. Нелинейные колебания. Вынужденные колебания с демпфированием.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
10. Генератор механического шума.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
Дидактическая единица: МЭМС гироскопы					
11. Гироскопы. Общие сведения. Вибрационный двухмодовый гироскоп.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
12. Вибрационный двухмодовый гироскоп. Колебания управляющей и чувствительной мод. Совпадающие и разделенные моды.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
13. Емкостные гироскопы. Квадратурная ошибка.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
14. Измерительная схемотехника для МЭМС гироскопов.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция

15. Шумы в гироскопах. Шум в гироскопах с совпадающими и разделенными модами.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
16. Коммерческие гироскопы. Кварцевый гироскоп камертонного типа.	1	0	0	ПК-13/НА.1	Лекция
17. Пьезоэлектрический метал/керамический гироскоп.	1	0	0	ПК-13/НА.1	Лекция
18. Гироскоп с поверхностной микрообработкой.	1	0	0	ПК-13/НА.1	Лекция
Дидактическая единица: Сенсоры давления					
19. Сенсоры давления. Механические диафрагмы: круглая, квадратная.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
20. Тензорезистивные датчики давления.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
21. Емкостные датчики давления.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
22. Особенности сборки сенсоров давления.	1	0	0	ПК-13/НА.1	Лекция
Дидактическая единица: Электростатические актюаторы					
23. Электростатические актюаторы. Силы действующие на конденсатор переменной ёмкости. Плоскопараллельный преобразователь. Положение равновесия и точка нестабильности.	2	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
24. Емкостные упругие силы. Продольный (гребенчатый) переменный конденсатор.	2	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
25. Емкостное преобразование на переменном напряжении: с постоянным смещением, на частоте w0/2, на высоких частотах.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
26. Транзистор с резонирующим затвором. Принцип работы интегрального микромеханического реле.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
27. Принцип работы и виды электростатических шаговых микродвигателей.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция

28. Скребущий шаговый микродвигатель. S-образный электростатический актюатор. Электростатический сегнетоэлектрический планарный двигатель.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
29. Электростатический зарядовый микроактюатор.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
30. Принцип работы электростатического микронасоса: прямой и инверсный режимы.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
31. Принцип работы DLP-проекционных систем.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция
32. Принцип работы GLV-проекционных систем, решётчатый световой модулятор.	1	0	0	ПК-12/НА.2, ПК-13/НА.1	Лекция

Темы лабораторных работ	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 1					
Дидактическая единица: МЭМС акселерометры					
1. Статический анализ	4	2	2	ПК-11/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.2	Работа в компьютерном классе
Дидактическая единица: Ограничивающие факторы и явления в МЭМС					
2. Модальный и гармонический анализ	4	2	2	ПК-11/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.2	Работа в компьютерном классе
Дидактическая единица: МЭМС гироскопы					
3. Двумерный электростатический анализ	4	2	3	ПК-11/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.2	Работа в компьютерном классе
Дидактическая единица: Сенсоры давления					
4. Расчет мембран сенсоров давления	4	4	2	ПК-11/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.2	Работа в компьютерном классе

3.1 Практическая подготовка

Таблица 3.2

№	Темы занятий	Формы организации занятий	Содержание практической подготовки (виды работ)
1	Статический анализ	Лб	Выполняет следующие виды работ: с помощью статического анализа методом конечных элементов необходимо определить перемещения микромеханических компонентов под действием внешних воздействий, например, ускорений.

2	Модальный и гармонический анализ	Лб	Выполняет следующие виды работ: необходимо с помощью модального анализа МКЭ определить собственные формы и частоты колебаний микромеханических компонентов. С использованием гармонического анализа МКЭ нужно построить амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики микромеханических компонентов.
3	Двумерный электростатический анализ	Лб	Выполняет следующие виды работ: в работе необходимо с помощью двумерного электростатического анализа МКЭ определить перемещения упругих элементов электромеханических микропреобразователей под действием электростатических сил и рассчитать величины и направления вектора напряженности электрического поля.
4	Расчет мембран сенсоров давления	Лб	Выполняет следующие виды работ: в работе необходимо рассчитать статические и динамические параметры мембраны для достижения заданных харктеристик сенсора давления.

3.2 Самостоятельная работа обучающегося

Таблица 3.3

№	Виды самостоятельной работы	Индикаторы достижения компетенций	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 1				
1	РГЗ/Реферат	ПК-11/НА.3,ПК-12/НА.2,ПК-13/НА.1,ПК-14/НА.2	36	1
: Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.- 119, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				
2	Подготовка к занятиям	ПК-11/НА.3,ПК-12/НА.2,ПК-13/НА.1,ПК-14/НА.2	18	0
: Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.- 119, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				
3	Подготовка к аттестации	ПК-11/НА.3,ПК-12/НА.2,ПК-13/НА.1,ПК-14/НА.2	36	1
Подговка к зачету: Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.- 119, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273				

3.3 Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	Социальные сети
Консультирование	Портал НГТУ
Контроль	Портал НГТУ
Размещение учебных материалов	ЭБС

4. Правила аттестации обучающихся по дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставлять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 1		
Лекция:	10	20
Лабораторная:	15	30
РГЗ/Реферат:	15	30
Контролирующие материалы приводятся в "Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.- 119, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273"		
Зачет:	0	20
Контролирующие материалы приводятся в "Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.- 119, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273"		

В таблице 4.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 4.2

Коды компетенций	Индикаторы достижения компетенций	Формы контроля	
		Защита РГЗ/Р	Зачет
ПК-11/НА	ПК-11/НА 3. Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники	+	+
ПК-12/НА	ПК-12/НА 2. Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования	+	+
ПК-13/НА	ПК-13/НА 1. Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований	+	+
ПК-14/НА	ПК-14/НА 2. Умеет применять цифровые технологии в производстве изделий микроэлектроники	+	+

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

5. Литература

Основная литература

1. Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.- 119, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273

2. Гридчин А. В. Микродатчики и микросистемы. Краткий курс лекций : [учебное пособие] / А. В. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021.- 224, [1] с. : ил.- Текст : непосредственный.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000245580

Дополнительная литература

1. Косых, А. В. МЭМС: инерциальные системы, микроактюаторы, датчики : учебное пособие / А. В. Косых. — Омск : ОмГТУ, 2015. — 77 с. — ISBN 978-5-8149-2015-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/149117 (дата обращения: 30.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Драгунов, В. П. Микро- и наноэлектроника: Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак. — Новосибирск : НГТУ, 2015. — 50 с. — ISBN 978-5-7782-2615-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/118132 (дата обращения: 30.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Интернет-ресурсы

1. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - [Россия], 2010. - Режим доступа: http://e.lanbook.com. - Загл. с экрана.

6. Методическое и программное обеспечение, информационные технологии

6.1 Методическое обеспечение

1. Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.- 119, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000230273

2. Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000044161

6.2 Специализированное программное обеспечение

1 Операционная система Microsoft Windows

6.3 Информационные технологии

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине применяются элементы дистанционных образовательных технологий, а также синхронного и асинхронного взаимодействия в электронной информационно-образовательной среды НГТУ.

7. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Проведение лекционных занятий

Лабораторный стенд

№	Наименование	Назначение
1	Компьютерный класс №41	Проведение лабораторных занятий