

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

С.Т. Князев
2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1142916	Микроэлектромеханические системы

Екатеринбург, 2020

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Управление исследованиями и разработками	Код ОП 1. 27.04.05/33.01
Направление подготовки 1. Инноватика	Код направления и уровня подготовки 1. 27.04.05

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кулеш Никита Александрович	кандидат физико- математических наук	доцент	кафедра магнетизма и магнитных наноматериалов

Согласовано:

Учебный отдел



1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ

Микроэлектромеханические системы

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входит курс «Микроэлектромеханические системы» (МЭМС). В рамках дисциплины рассматриваются основные законы скейлинга и современные технологии, использование которых обеспечивает преимущества микро- и наноразмерных систем по сравнению с макроразмерными аналогами. В результате прохождения курса слушатель получит представление о причинах повсеместного использования МЭМС, основных методах производства, а также об основных типах МЭМС, их принципах работы и областях применения.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Микроэлектромеханические системы	3
ИТОГО по модулю:		3

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	
Постреквизиты и корреквизиты модуля	

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Микроэлектромеханические системы	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук Д-1 - Проявлять лидерские качества и умения командной работы
	ОПК-5 - Способен планировать, организовывать и контролировать	З-4 - Показать возможности использования цифровых технологий (создание цифровых двойников) для оптимизации работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования,

	<p>работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования и технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p>	<p>технологических процессов и информационных систем П-2 - Провести контроль выполнения заданий с учетом соответствия регламентам, срокам исполнения и материальным затратам</p>
	<p>ПК-3 - Способен использовать методы и инструменты изучения рынков для маркетинговых исследований в заданных отраслевых сегментах</p>	<p>З-1 - Применять методы оптимизации, основные методы прогнозирования, специализированное программное обеспечение для сбора и анализа информации У-1 - Анализировать данные по оптимизации и эффективности проектов в области высоких технологий П-2 - Оценивать конкурентоспособность и коммерческий потенциал в проектах в области высоких технологий</p>

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в форме:

Очная

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Микроэлектромеханические системы

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кулеш Никита Александрович	кандидат физико- математических наук	доцент	кафедра магнетизма и магнитных наноматериалов

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология;

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Обзор содержания курса, определение MEMS, основные области применения и типы устройств. Предпосылки и причины перехода к MEMS, экономическая составляющая MEMS, государственные программы поддержки и частные компании, занимающиеся разработкой и выпуском продукции.
P2	Законы скейлинга	Законы скейлинга, энергоэффективность MEMS, диссипация энергии при уменьшении размеров функциональных элементов, преимущества и недостатки миниатюризации.
P3	Материалы для MEMS	Обзор материалов, используемых для производства MEMS: подложка/основа устройства, функциональные элементы, инкапсуляция и защита готового устройства.
P4	Технологии производства MEMS	Технологии осаждения материала: литография, методы химического осаждения, методы физического осаждения, LIGA, нанесение полимерного покрытия. Технологии травления материала: химическое и плазменное травление, DRIE, механическая обработка. Вспомогательные технологии и инкапсуляция: сращивание полупроводниковых пластин, инкапсуляция с использованием полимеров.
P5	Основные типы MEMS	Датчики на основе тензорезистивного эффекта: датчики давления и механических напряжений. Оптические MEMS: микрозеркала (технология DLP), микроустройства для обработки и модуляции электромагнитного излучения. Магнитные MEMS: микродвигатели, сенсоры и актюаторы, элементы самосборки. Биологические MEMS: лаборатория на чипе, ПЦР на чипе, элементы с памятью формы, микронасосы.
P6	Проектирование и моделирование MEMS	Основные подходы к моделированию MEMS, обзор основных программных пакетов, рассмотрение примера в пакете COMSOL Multiphysics.

1.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации.

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

1. Игнатов, А. Н. Микросхемотехника и нанoeлектроника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 528 с. — ISBN 978-5-8114-1161-0. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2035>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Печатные издания

1. Резнев, А. А. Тенденции развития МЭМС / А. А. Резнев, В. Д. Вернер .— [М. : Амиант, 2010] .— 272, [1] с. : ил. — Библиогр.: 268-272 .— ISBN 978-5-4231-0042-1.
2. Lyshevski, Sergey Edward. Nano- and Micro- Electromechanical Systems : Fundamentals of Nano- and Microengineering / S. E. Lyshevski .— 2th ed. — Boca Raton : CRC Press, 2005 .— 722 p. — (Nano- and Microscience, Engineering, Technology, and Medicine series ; 8) .— ISBN 0-8493-2838-1.
3. Enabling Technology for MEMS and Nanodevices / ed. by H. Baltes, O. Brand, G. K. Fedder [et al.].— Weinheim : WILEY-VCH, 2004 .— 427 p. : ill. ; 25 cm .— (Advanced Micro & Nanosystems ; vol. 1) .— Ind.: p. 415-427. — ISBN 352730746X.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Scopus <http://scopus.com/>
2. Applied Science & Technology Source EBSCO publishing <http://search.ebscohost.com>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru/>
2. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа, текущей и промежуточной аттестации, оснащённая мультимедийным оборудованием	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с Comsol Multiphysics Academic SingleUser - лицензия для образовательных учреждений – б/с

Приложение
к рабочей программе дисциплины

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Примерные вопросы к зачету по дисциплине «Микроэлектромеханические системы»

1. Общие особенности формирования фундаментальных свойств магнетиков в низкоразмерном состоянии.
2. Получение и аттестация тонких плёнок.
3. Спонтанная намагниченность, магнитная анизотропия, доменная структура и структурно-чувствительные свойства плёнок.
4. Магнитная динамика плёнок.
5. Свойства слоистых структур с контактной обменной связью: спонтанная намагниченность, динамические свойства, гистерезисные свойства.
6. Плёнки с немагнитными прослойками: механизмы межслойной связи; особенности магнитной анизотропии, гистерезисных свойств и доменной структуры.
7. Магнитоэлектрические явления в многослойных плёнках.
8. Химические и физические методы получения и структурной аттестации магнитных проволок.
9. Микропроволоки в оболочке: аттестация, магнитные свойства, приложения.
10. Магнитодинамика микропроводов.
11. Получение и структурная аттестация магнитных частиц.
12. Магнитные свойства и особенности аттестации магнитных наночастиц.
13. Феррожидкости: получение, аттестация, магнитные свойства, приложения.
14. Феррогели: получение, аттестация, магнитные свойства, приложения.
15. Композиты типа магнитные наночастицы в полимерной матрице: получение, аттестация, свойства, приложения.
16. Биомедицинские приложения магнитных наночастиц.
17. Сенсорные приложения магнитных частиц.
18. Причины перехода к микро и наноразмерным системам и эффекты скейлинга.
19. Основные типы и области применения МЭМС и НЭМС, их востребованность и место в современной промышленности.
20. Основные методы получения тонких слоев металлов, полупроводников, диэлектриков и органических материалов.
21. Методы обработки и формовки, применяемые для производства МЭМС: литография, объемная микрообработка, поверхностная микрообработка, поверхностное связывание, DRIE, LIGA и т.д.
22. Методы анализа и контроля микро и наноразмерных структур.