

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника».

утвержденного 22.09.2017 №959

Разработчики
д.т.н., проф. кафедры «Электронные приборы»

С.М. Карabanов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

« 09 » 06 2020 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой «Электронные приборы»

д.ф. - м.н., профессор

М.В. Чиркин

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы магистратуры

Рабочая программа по дисциплине «MEMS-технологии» (Б1.В.05) является составной частью основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) академической магистратуры, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» (уровень магистратуры), утвержденным приказом Минобрнауки России от 30.10.2014 № 1407.

Цель освоения дисциплины - формирование базовых знаний в области MEMS-технологий, являющихся предпосылкой для возможностей практического использования преимуществ MEMS-датчиков при разработке, проектировании, производстве и применениях устройств электронной техники различного назначения.

Задачи дисциплины - выработка навыков оценки новизны исследований и разработок MEMS-технологий, освоение новых методологических подходов к решению профессиональных задач в области электроники и нанoeлектроники.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Категория (группа) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
	ПК-1. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	<p><i>Знать:</i> базовые MEMS-технологии, используемые в них материалы электронной техники и специфику их применения, области применения MEMS-датчиков и требования к ним, механические и электрические характеристики чувствительных элементов MEMS-датчиков</p> <p><i>Уметь:</i> формулировать задачи при проектировании электронных устройств, включающих MEMS-датчики, обоснованно выбирать методы и средства их решения при максимальном использовании преимуществ MEMS-технологий</p> <p><i>Владеть:</i> методами контроля характеристик MEMS-датчиков и модулей на их основе</p>
	ПК-5. Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить	<p><i>Знать:</i> типовые конструкционные и технологические решения, которые применяются при проектировании MEMS-датчиков различного назначения</p> <p><i>Уметь:</i> критически анализировать технические</p>

	научные публикации и заявки на изобретения	решения по применению MEMS-датчиков в задачах проектирования устройств электронной техники, осуществлять патентные исследования в области MEMS-технологий <i>Владеть:</i> методиками подготовки научных публикаций и заявок на изобретения
	ПК-6. Способен анализировать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения	<i>Знать:</i> проблемы, препятствующие получению достоверной информации при использовании MEMS-датчиков в различных областях электроники и нанoeлектроники <i>Уметь:</i> критически оценивать содержание монографий, научных публикаций и патентов в области MEMS-технологий <i>Владеть:</i> методиками патентного поиска и работы с источниками научной информации
	ПК-12. Способен разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	<i>Знать:</i> Стандарты, применяемые при проектировании MEMS-датчиков <i>Уметь:</i> осуществлять выбор необходимых технологий и средств проектирования и формирования КД для MEMS – датчиков <i>Владеть:</i> модулями формирования КД встроенными в современные САПР.
	ПК-13. Готов обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов	<i>Знать:</i> проблемы, возникающие при разработке MEMS-датчиков <i>Уметь:</i> критически оценивать процесс производства, находить решения по улучшению качества выпускаемой продукции <i>Владеть:</i> методами оптимизации производства с точки зрения экономической эффективности

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «MEMS-технологии» (Б1.В.05) является дисциплиной по выбору студента, относится к вариативной части блока 1 дисциплин ОПОП «Электронные приборы и устройства» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» ФГБОУ ВО «РГРТУ».

Дисциплина изучается по очной форме обучения на 2 курсе в 3 семестре.

Пререквизиты дисциплины. Дисциплина «MEMS-технологии» (Б1.В.05) базируется на следующих дисциплинах учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», ОПОП «Электронные приборы и устройства»: «Основы проектирования электронной компонентной базы».

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

знать: физические процессы и явления, происходящие в проводниках, полупроводниках и диэлектриках; контактные явления в полупроводниках; методы исследования материалов и структур электроники.

уметь: формулировать задачи, связанные конструированием электронных приборов и устройств; уметь решать задачи по расчету электрических цепей.

владеть: методами выполнения проекторочных расчетов компонентов электронных приборов и устройств; фундаментальными понятиями и законами теории электромагнитного поля.

Взаимосвязь с другими дисциплинами. Требования к входным знаниям совпадают с требованиями к освоению перечисленных выше предшествующих дисциплин ОПОП подготовки магистрантов по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», ОПОП «Электронные приборы и устройства». Дисциплина «MEMS-технологии в электронике» содержательно и методологически взаимосвязана с указанными дисциплинами.

Постреквизиты дисциплины. Дисциплина «MEMS-технологии в электронике» является основой для дальнейшего изучения дисциплин: «Научно-исследовательская работа», «Преддипломная практика», «Выпускная квалификационная работа».

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетные единицы (ЗЕ), 108 часов.

Вид учебной работы	Всего часов		
	Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе:	108	-	-
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:	36	-	-
Лекции	18	-	-
Лабораторные работы	12	-	-
Практические занятия	6	-	-
Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе:	72	-	-
Курсовой проект/ курсовая работа	-	-	-
Подготовка к экзамену, консультации	-	-	-
Консультации в семестре	5	-	-
Иные виды самостоятельной работы	67	-	-
Вид промежуточной аттестации обучающихся:	зачет	-	-

4. Содержание дисциплины

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

Тема 1. Введение в дисциплину.

Предмет дисциплины. Основные понятия MEMS-технологии. История развития МЭМС. Современный рынок МЭМС. МЭМС технологии в России. Технологические вопросы. Микроактюаторы.

Тема 2. Изделия на магнитоуправляемых контактах.

Типы магнитоуправляемых контактов. Сухие язычковые герконы. Жидкометаллические язычковые герконы. Мембранные герконы. Якорные герконы. Герконовые реле. Герконовые командоаппараты. Герконо-полупроводниковые коммутационные аппараты.

Тема 3. МЭМС-приборы.

Конструкции и принципы работы МЭМС-устройств. Акселерометры. Гироскопы. Микрофоны. Датчики давления. Матрицы микрозеркал. Микрофилтры. Микроклапаны. Микронасосы.

Тема 4. Основные технологии производства МЭМС-устройств в электронике.

Основные технологические процессы изготовления механических МЭМС-компонентов. LIGA технология. Кремниевая поверхностная микрообработка. HARM-технология. Субтрактивная технология создания МЭМС-коммутаторов. Аддитивная технология создания МЭМС-коммутаторов.

Тема 5. Технологии нанесения контактных покрытий.

Базовые технологические процессы нанесения контактных покрытий. Вакуумное напыление. Термовакuumное испарение. Магнетронное распыление. Гальванический метод нанесения покрытий. Режимы осаждения контактных покрытий. Материалы покрытий. Механизмы эрозии контактных покрытий.

Тема 6. Свойства контактных покрытий МЭМС-устройств.

Фазовый состав контактного покрытия. Контактное сопротивление. Химический износ, коррозия. Электрическая эрозия. Сваривание контактов. Залипание контактов. Микротвердость контактного покрытия. Пористость контактного покрытия.

Тема 7. Основные параметры и характеристики МЭМС-устройств.

Термины, определения, буквенные обозначения параметров и характеристик МЭМС-устройств. Факторы, влияющие на магнитную чувствительность МЭМС-устройств. Факторы, влияющие на силу контактного нажатия МЭМС-устройств. Факторы, влияющие на стойкость к ударному воздействию МЭМС-устройств.

Тема 8. Диагностика параметров МЭМС-коммутаторов.

Измерение магнитной чувствительности МЭМС-коммутатора. Измерение величины сопротивления коммутации МЭМС-коммутатора. Измерение величины коммутируемого тока МЭМС-коммутатора. Измерение величины рабочего напряжения МЭМС-коммутатора. Измерение габаритов МЭМС-коммутатора. Измерение сопротивления изоляции МЭМС-коммутатора. Измерение паразитной емкости МЭМС-коммутатора.

4.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах).

№ п/п	Тема	Общая трудоемкость всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа обучающихся
			Всего	лекции	Практ	лабор	
1	Введение в дисциплину.	7	2	2	-	-	5
2	Изделия на магнитоуправляемых контактах.	10	2	2	-	-	8
3	МЭМС-приборы.	10	2	2	-	-	8
4	Основные технологии производства МЭМС-устройств в электронике.	18	8	2	2	4	10
5	Технологии нанесения контактных покрытий.	20	10	4	2	4	10
6	Свойства контактных покрытий МЭМС-устройств.	18	8	2	2	4	10
7	Основные параметры и характеристики МЭМС-устройств.	10	2	2	-	-	8
8	Диагностика параметров МЭМС-коммутаторов.	10	2	2	-	-	8
9	Консультации в семестре	5	-	-	-	-	5
10	Экзамены и консультации	-	-	-	-	-	-
	Всего:	108	36	18	6	12	72

4.3 Виды практических, лабораторных и самостоятельных работ

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
1	Введение в дисциплину.	Самостоятельная работа	История развития МЭМС. Изучение конспекта лекций.	5
2	Изделия на магнитоуправляемых контактах.	Самостоятельная работа	Разновидность магнитоуправляемых контактов. Изучение конспекта лекций.	8
3	МЭМС-приборы.	Самостоятельная работа	Конструкции и принципы работы МЭМС-устройств. Изучение конспекта лекций.	8
4	Основные технологии производства МЭМС-устройств в электронике.	Самостоятельная работа	Основные технологические процессы изготовления МЭМС-компонентов. Изучение конспекта лекций.	10
		Лабораторная работа	Исследование селективного травления в металлических структурах МЭМС.	4

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
		Практическая работа	Анализ результатов селективного травления с помощью оптического микроскопа.	2
5	Технологии нанесения контактных покрытий.	Самостоятельная работа	Базовые технологические процессы нанесения контактных покрытий. Изучение конспекта лекций.	10
		Лабораторная работа	Осаждение функционального контактного покрытия Ni-W	4
		Практическая работа	Расчет функционального покрытия МЭМС на основе Ni-W	2
6	Свойства контактных покрытий МЭМС-устройств.	Самостоятельная работа	Основные параметры контактных покрытий МЭМС. Изучение конспекта лекций.	10
		Лабораторная работа	Формирование диэлектрических покрытий методом электрохимического осаждения	4
		Практическая работа	Расчет диэлектрического слоя контактного покрытия, полученного методом электрохимического анодирования	2
7	Основные параметры и характеристики МЭМС-устройств.	Самостоятельная работа	Определение факторов, влияющих на основные параметры МЭМС-устройств. Изучение конспекта лекций.	8
8	Диагностика параметров МЭМС-коммутаторов.	Самостоятельная работа	Методики измерения основных параметров МЭМС. Изучение конспекта лекций.	8
9	Консультации в семестре.	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций.	5

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Исследование контактных явлений. Дубков М.В. Методические указания. Рязань. 2018. [<http://elib.rsreu.ru/ebs/download/1766>]
2. Технология и физика приборов пленочной электроники. Молчанов Ю.К., Соломенникова В.С., Чижиков А.Е. Методические указания. Рязань 2008. [<http://elib.rsreu.ru/ebs/download/1597>]

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Фонд оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «MEMS-технологии в электронике»).

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освое-

ния дисциплины

Основная учебная литература:

1. Резнев, А.А. Тенденции развития МЭМС / А.А. Резнев, В.Д. Вернер. — М. : Амиант, 2010. — 272 с
2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение. 2007. 400 с.
3. Вардан В., Виной К., Джозе К., ВЧ МЭМС и их применение. М.: Техносфера, 2004. 528 с.
4. Тимофеев. В.Н. Техническая механика микросистем. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 176 с.
5. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах) / Под. Ред. Б. Бхушана. М.: Техносфера, 2006. 592 с.
6. Войтович И.Д., Корсунский В.М. Интеллектуальные сенсоры. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 624 с.
7. Джексон Р. Новейшие датчики. М.; Техносфера, 2007. 384 с.
8. Шоффа В.Н. Герконы и герконовые аппараты: Справочник. М.: Изд-во МЭИ, 1993.
9. Алексей Борзенко, Технология MEMS // ВУТЕ / Россия. - 2006. - № 1. - С. 26-32.
10. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения - 2008 год : сборник / под ред. П.П. Мальцева. М.: Техносфера, 2008.
11. Нано-и микросистемная техника. От исследований к разработкам: сборник статей / под ред. П.П. Мальцева, М.: Техносфера, 2005.
12. Технология тонких пленок: Справочник / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. — М.: Сов. радио, 1977. — Т.1. — 662 с.
13. Беккерт, М. Способы металлографического травления / М. Беккерт, Х. Клемм; справочное издание. – 2-е изд., перераб. и доп. – пер. с нем. – М.: Металлургия, 1988. – 400 с.

Дополнительная учебная литература:

1. Максимальные частоты коммутации, адекватные условиям разового режима управления для отечественных герконов / В.Н. Шоффа, СВ. Хромов, В.Н. Чичерюкин, СВ. Давыдов / Электротехника, 1991, № 1. С. 33-34.
2. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2006. 592 с.
3. Коноплев, Б.Г. Компоненты микросистемной техники: учебное пособие. Часть 1 / Б.Г. Коноплев, И.Е. Лысенко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 117 с.
4. Вернер В.Д., Иванов А.А., Коломенская Н.Г., Лучинин В.В., Мальцев П.П., Попова И.В., Сауров А.Н., Телец В.А. Изделия микросистемной техники – термины и определения, классификация и обозначения типов // Нано-и микросистемная техника. – 2008. – № 1. – С. 2-5.
5. Вернер В.Д., Мальцев П.П., Резнев А.А., Сауров А.Н., Чаплыгин Ю.А. Современные тенденции развития микросистемной техники // Нано-и микросистемная техника. – 2008. – № 8. – С. 2-6.
6. Гридчин В.А., Драгунов В.П. Физика микросистем: Учеб. пособие. В 2 ч. Ч.1. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 416 с
7. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение. – 2007. – 400 с.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Электронные образовательные ресурсы:

1. Электронно-библиотечная система «IPRBook». ЭБС издательства «IPRBook» [Электронный ресурс]. – URL: <http://iprbookshop.ru/>
2. Электронно-библиотечная система «Лань». ЭБС издательства «Лань» [Электронный ресурс]. – URL: <http://e.lanbook.com>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Материал каждой лекции рекомендуется изучать в день ее прочтения лектором, когда она еще не забыта. При этом необходимо использовать конспект и рекомендованную литературу. Использовать литературу необходимо для углубленного изучения материала лекции и для уточнения тех мест, которые в конспекте оказались записаны недостаточно понятно. В конспекте каждой лекции необходимо оставлять чистое место и конспектировать в нем изученную литературу, чтобы при подготовке к текущей, промежуточной или итоговой аттестации можно было повторить всю тему. Лектором в течение всего семестра проводятся консультации по лекционному материалу.

Каждую тему, предусмотренную планом самостоятельной работы, следует изучать самостоятельно в течение отведенных для ее изучения двух недель с помощью рекомендованной литературы. Все возникающие при этом вопросы надо записывать, чтобы получить на них ответы на консультации. По каждой теме для каждой учебной группы лектор проводит консультации в конце ее изучения (один раз в две недели).

Практическая работа студента заключается в решении или выполнении типовых задач и заданий. Каждое решение должно быть оформлено в виде отчета и должно содержать следующие элементы:

- титульный лист;
- начальные данные;
- решение задачи или результат выполненного задания.

В конце семестра при подготовке к аттестации студент должен повторить изученный в семестре материал и в ходе повторения обобщить его, сформировав цельное представление о нем. Следует иметь в виду, что на подготовку к промежуточной аттестации времени бывает очень мало, поэтому начинать эту подготовку надо заранее, не дожидаясь последней недели семестра.

Следует всегда помнить, что залог успеха студента в учебе – планомерная работа в течение всего семестра и своевременное выполнение всех видов работы.

Самостоятельная работа как вид учебной работы может использоваться на лекциях и практических занятиях, а также иметь самостоятельное значение – внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся – при подготовке к лекциям, практическим занятиям, а также к теоретическому зачету.

Основными видами самостоятельной работы по дисциплине являются:

- самостоятельное изучение отдельных вопросов по темам самостоятельных работ (п.4.3);
- подготовка к защите практического задания, оформление отчета.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки магистрантов 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», при изучении студентами дисциплины реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных технологий проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой преподавателя и студента.

Изучение дисциплины предусматривает применение активных форм проведения занятий с целью формирования и развития общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся.

При проведении самостоятельной работы обучающихся используются следующие информационные технологии:

- доступ в сеть Интернет, обеспечивающий, поиск актуальной научно-методической и научно-технической информации;
- необходимое программное обеспечение для выполнения программы дисциплины, установленное в вузе, а также для выполнения самостоятельной работы в домашних условиях;

При организации самостоятельной работы студентов используется комплекс учебных и учебно-методических материалов в сетевом доступе (программа, методические пособия, список рекомендуемых источников литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме и вопросы для самоконтроля).

Принятая технология обучения базируется на интерактивной работе в аудитории, когда в процессе лекций, лабораторных и практических занятий, дополняемых самостоятельной работой обучающихся, в том числе и с участием преподавателя, выполняется серия экспресс-заданий, совокупность которых позволяет практически применить полученные знания, развивая компетенции, предусмотренные для данной дисциплины.

Проведение ряда занятий осуществляется с использованием компьютеров и мультимедийных средств, наглядных пособий.

Перечень лицензионного программного обеспечения:

1. Операционная система Windows XP (корпоративная лицензия);
2. Пакет Libre Office или иное свободно распространяемое программное обеспечение (лицензия LGPL);
3. Kaspersky Endpoint Security (лицензионная версия)

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для освоения дисциплины необходимы:

1) для проведения лекционных занятий необходима аудитория с достаточным количеством посадочных мест, соответствующая необходимым противопожарным нормам и санитарно-гигиеническим требованиям;

2) для проведения практических занятий необходима аудитория с достаточным количеством посадочных мест, соответствующая необходимым противопожарным нормам и санитарно-гигиеническим требованиям.

3) для проведения лабораторных занятий необходимы специализированные лаборатории, оснащенные приборами, необходимыми для выполнения работ из всех разделов курса.

Программу составили
д.т.н., проф. кафедры ЭП

Карабанов С.М.