

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

Кафедра №13

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель направления

ДОЦ., К.Т.Н., ДОЦ.

(должность, уч. степень, звание)



В.К. Пономарев

(подпись)

«29» мая 2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Технология производства микро-механических систем»

Код направления	24.03.02
Наименование направления/ специальности	Системы управления движением и навигация
Наименование направленности	Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации
Форма обучения	Очная

Санкт-Петербург 2023 г.

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил(а)

доц.,к.т.н.,доц.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата

В.К. Пономарев

инициалы, фамилия

Программа одобрена на заседании кафедры № 13

«29» мая 2023 г, протокол № 9

Заведующий кафедрой № 13

к.т.н., доц.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата

Н.А. Овчинникова

инициалы, фамилия

Ответственный за ОП 24.04.02(01)

доц.,к.т.н.,доц.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата

В.К. Пономарев

инициалы, фамилия

Заместитель директора института (факультета) № 1 по методической работе

Ст.преподаватель

должность, уч. степень, звание



подпись, дата

В.Е. Таратун

инициалы, фамилия

Аннотация

Дисциплина «Технология производства микро-механических систем» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 24.03.02 «Системы управления движением и навигация» направленности «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации». Дисциплина реализуется кафедрой №13.

Дисциплина не является обязательной при освоении обучающимся образовательной программы и направлена на углубленное формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.

Целью дисциплины является ознакомление студентов с особенностями технологического процесса производства микромеханических приборов и устройств, а также привитие первичных умений и навыков его организации.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающегося, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский »

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью дисциплины является ознакомление студентов с особенностями технологического процесса производства микромеханических приборов и устройств, а также привитие первичных умений и навыков его организации.

1.2. Дисциплина является факультативной дисциплиной по направлению образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общепрофессиональные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности	ОПК-1.3.1 обладает математическими, общепрофессиональными знаниями в области естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин ОПК-1.У.1 уметь применять знания в области естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин ОПК-1.В.1 имеет навыки теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- Технология приборостроения,
- Гироскопические приборы и системы,
- Микромеханические инерциальные чувствительные элементы,
- Микромеханические приборы и устройства,
- Материаловедение,
- Метрология, стандартизация и сертификация,
- Испытание и техническое обслуживание приборов и систем ориентации, стабилизации и навигации.

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при подготовке выпускной квалификационной работы бакалавра.

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№8
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	2/ 72	2/ 72
Из них часов практической подготовки		
Аудиторные занятия, всего час.	20	20
в том числе:		
лекции (Л), (час)	10	10
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	10	10
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
Самостоятельная работа, всего (час)	52	52
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач,)	Зачет	Зачет

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекц и (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
	Семестр 8				
Раздел 1. Физические свойства кремния, как основного конструкционного материала МЭМС	1				6
Раздел 2. Изготовление и подготовка заготовок кремния	1		1		6
Раздел 3. Способы формирования топологии МЭМС на кремниевой пластине	2		1		8

Раздел 4. Технология создания 3-D структуры МЭМС	2		2		8
Раздел 5. Групповая технология тестирования, отбраковки и калибровки механических модулей МЭМС	2		2		8
Раздел 6. Сборка МЭМС - устройств	1		2		8
Раздел 7. Испытания МЭМС	1		2		8
Итого в семестре:	10		10		52
Итого	10	0	10	0	52

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	Физические свойства кремния, как основного конструкционного материала МЭМС Аморфный, поликристаллический и кристаллический кремний. Кристаллографические направления. Физические свойства кремния. Модули упругости и сдвига. Коэффициент Пуассона. Коррозионная стойкость. Легирование кремния. Срезы монокристалла кремния.
2	Изготовление и подготовка заготовок кремния Технологии получения поликристаллического и кристаллического кремния. Виды заготовок кремния для изготовления МЭМС – устройств. Дефекты заготовок. Жидкостная и сухая очистка пластин кремния. Контроль качества очистки. Получение пластин заданной толщины. Механические способы, химическое травление.
3	Способы формирования топологии МЭМС на кремниевой пластине Общие принципы формирования топологий. Фотолитография. Электроннолучевая литография. Рентгеновская литография. Формирование жертвенных слоев. Контроль качества операций.
4	Технология создания 3-D структуры МЭМС Общие сведения о техпроцессе. Жидкостное и сухое травление. Особенности изотропного и анизотропного травления. Состав и физические свойства реагентов. Стабилизирующие операции.
5	Групповая технология тестирования, отбраковки и калибровки механических модулей МЭМС

6	Сборка МЭМС – устройств .Ручная и автоматическая сборка. Обеспечение привязки элементов МЭМС к заданным направлениям. Технология электрических соединений. Контроль механической прочности соединений. Герметизация механических модулей МЭМС – устройств и создание требуемой газовой среды внутри корпуса устройства.
7	Испытания МЭМС Метрологические характеристики МЭМС и эксплуатационные требования к изделиям МЭМС. Оценка основных технических характеристик по экспериментальным данным. Испытательное оборудование и методики экспериментальных исследований. Испытание на устойчивость и стойкость к климатическим возмущающим факторам: изменениям температуры окружающей среды, влажности, давления, электромагнитным воздействиям и радиации. Испытание на устойчивость и стойкость к механическим воздействиям: одиночным и многократным ударам, линейным ускорениям, синусоидальной и случайной вибрации, акустическим шумам.

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 8				
1	Изготовление и подготовка заготовок кремния	2	2	2
2	Формирования топологии МЭМС на кремниевой пластине	2	2	3
3	Тестирование, отбраковка и калибровка механических модулей МЭМС	2	2	5
4	Сборка МЭМС – устройств	2	2	6
5	Испытания МЭМС	2	2	7
Всего		10		

4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы
Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 7, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	40	40
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)		
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	12	12
Всего:	52	52

5.Перечень учебно-методического обеспечения

для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

6.Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке
681.2 Р 24	Распопов В.Я. Микромеханические приборы. Тула, 2002, 367 с.	6
	Основы микросистемотехники : [Электронный ресурс] учебное пособие / В. А. Шубарев [и др.] ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Документ включает в себя 1 файл, размер: (4,59МБ). - СПб. : Изд-во ГУАП, 2008. - 196 с.	
	Микромеханические инерциальные чувствительные элементы. Микромеханические гироскопы: [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. И. Панферов [и др.]; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм.	

	приборостроения. - Электрон. текстовые дан. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2021. - 117 с.	
	Испытания микромеханических сенсоров параметров движения основания : [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. Ф. Скорина, Н. А. Овчинникова ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Электрон. текстовые дан. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2019. - 149 с.	

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/745292/	Технология создания МикроЭлектроМеханических (МЭМС) устройств

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории
1	Лекционная аудитория	БМ.13-04
2	Мультимедийная лекционная аудитория	БМ.13-04

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств

Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Зачет	Список вопросов к зачету;

10.2. Критерии оценки уровня сформированности (освоения) компетенций

В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none">– обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал;– уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает;– опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления;– умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи;– делает выводы и обобщения;– свободно владеет системой специализированных понятий.
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none">– обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы;– не допускает существенных неточностей;– увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления;– аргументирует научные положения;– делает выводы и обобщения;– владеет системой специализированных понятий.
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none">– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;– допускает несущественные ошибки и неточности;– испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;– слабо аргументирует научные положения;– затрудняется в формулировании выводов и обобщений;– частично владеет системой специализированных понятий.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none">– обучающийся не усвоил значительной части программного материала;– допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;– испытывает трудности в практическом применении знаний;– не может аргументировать научные положения;– не формулирует выводов и обобщений.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
1	Виды кремния, кристаллографические направления	ОПК-1.3.1
2	Физические свойства кремния	ОПК-1.3.1
3	Технологии получения поликристаллического и кристаллического кремния	ОПК-1.3.1
4	Жидкостная и сухая очистка пластин кремния.	ОПК-1.3.1 ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
5	Получение пластин заданной толщины.	ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
6	Принципы формирования топологий. Фотолитография.	ОПК-1.3.1 ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
7	Принципы формирования топологий. Электроннолучевая литография	ОПК-1.3.1
8	Принципы формирования топологий. Рентгеновская литография	ОПК-1.3.1
9	Общие сведения о техпроцессе создания 3-D структуры МЭМС. Жидкостное и сухое травление.	ОПК-1.3.1 ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
10	Особенности изотропного и анизотропного травления	ОПК-1.3.1
11	Тестирование, отбраковка и калибровки механических модулей МЭМС	ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
12	Ручная и автоматическая сборка МЭМС – устройств	ОПК-1.3.1 ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
13	Технология электрических соединений	ОПК-1.3.1 ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
14	Герметизация механических модулей МЭМС – устройств и создание требуемой газовой среды внутри корпуса устройства.	ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
15	Метрологические характеристики МЭМС и эксплуатационные требования к изделиям МЭМС	ОПК-1.3.1
16	Оценка основных технических характеристик по	ОПК-1.3.1

	экспериментальным данным	ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
17	Испытание на устойчивость и стойкость к климатическим возмущающим факторам	ОПК-1.3.1 ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1
18	Испытание на устойчивость и стойкость к механическим воздействиям	ОПК-1.3.1 ОПК-1.У.1 ОПК-1.В.1

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

11.2. Методические указания для обучающихся по прохождению лабораторных работ

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач у обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

Лабораторные работы проводятся в форме тематических экскурсий при посещении производственной базы создания МЭМС – устройств на территориях предприятий АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор» и АО «Гирооптика».

Отчет о лабораторной работе оформляется по нормативам ГУАП.

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине в форме зачета с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой