

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**

Утверждаю:

Проректор по учебной работе

Павлов В. Н.

«» 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
**«ЭЛЕМЕНТЫ МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ»**  
для подготовки бакалавров  
по направлению  
11.03.04- «Электроника и наноэлектроника»  
по профилям  
«Нанотехнология в электронике»  
«Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Санкт-Петербург

2018

## СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№ учебного плана:	326, 026, 126, 325
Обеспечивающий факультет:	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра:	МНЭ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	4
Семестр	8

### **Виды занятий**

Лекции (академ. часов)	11
Практические занятия (академ. часов)	22
Лабораторные занятия (академ. часов)	22
Все аудиторные (контактные) занятия (академ. часов)	55
Самостоятельная работа (академ. часов)	89
Всего (академ. часов)	144

### **Вид промежуточной аттестации**

Дифференцированный зачет (семестр)	8
------------------------------------	---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры микро- и наноэлектроники - протокол № 2 от 1 марта 2018.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета электроники протокол № 2 от 16 марта 2018.

## **АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕМЕНТЫ МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ»**

Основной целью изучения дисциплины «Элементы микро- и наносистемной техники» является приобретение знаний в области классификации, принципов функционирования и базовых конструкций элементов микро- и наносистемной техники. Изучение дисциплины подкрепляется лабораторными и практическими занятиями. В результате изучения дисциплины, студенты должны быть готовы к работе с отдельными элементами микросистемной техники и их применению при создании технических систем различного функционального назначения. Данная дисциплина закладывает основы для преддипломной практики и выпускной квалификационной работы.

## **SUBJECT SUMMARY «ELEMENTS MICRO- AND THE NANO-SYSTEM TECHNICS»**

The target of the discipline “Elements micro- and the nano-system technics” is the acquisition of knowledge in the field of classification, principles of functioning and basic constructions of elements of micro- and nanosystems. The study of discipline is supported by laboratory and practical exercises. As a result of studying the discipline, students should be ready to work with individual elements of microsystem technology and their application when creating technical systems of various functional purposes. This discipline provides the basis for pre-diploma practice and final qualification work.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Изучение основных принципов, лежащих в основе функционирования элементов микро- и наносистем; основных методов формирования микро- и нанообъектов; фундаментальных знаний о механических свойствах и особенностях механики движения микро- и нанообъектов в реальных структурах.

2. Формирование навыков использования современных методов контроля и диагностики параметров элементов микро- и наносистемной техники.

3. Освоение навыков расчета и конструирования микро- и наномеханических систем.

Перечень компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приведен в матрице компетенций, прилагаемой к ООП.

## МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Элементы микро- и наносистемной техники» относится к вариативной части ООП. Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Материалы электронной техники»;
  2. «Компоненты электронной техники»;
  3. «Твердотельная электроника»;
  4. «Микро-и нанoeлектроника»,
- и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Введение (4академ. часов)**

Классификация компонентов микросистемной техники по функциональному назначению и принципу действия. Характеристики сенсоров. Погрешности измерений.

### **Тема 1. Сенсоры. Актюаторы(48академ. часов)**

Микромеханические сенсоры. Виды преобразователей. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, смещения, силы, ускорения, микрогироскопы, микрофоны. Микромеханические приводы движения.

Термоэлектрические сенсоры. Терморезистивные, термоэлектрические, термомеханические, пирозлектрические преобразователи. Датчики: температуры, потока, уровня жидкости, вакуума; термопары, анемометры, болометры, кондуктометры. Термоактюаторы: микронагреватели, микрохолодильники. Микроизлучатели.

Оптические сенсоры. Датчики: светового потока (энергетические, спектральные), оптического поглощения, смещения, положения. Магнитоэлектрические сенсоры: индуктивные преобразователи, магниторезисторы, магнитотранзисторы; датчики магнитного поля. Химические сенсоры: электрохимические, термокatalитические, адсорбционные преобразователи; датчики состава жидкостей и газов; датчики влажности. Биологические сенсоры.

### **Тема 2. Миниатюрные электрорадиомеханические и оптоэлектромеханические компоненты (22академ. часов)**

Управляемые микроэлектрорадиокомпоненты: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, микроантенны; микроэлектромеханические и микропневматические реле и коммутаторы. Управляемые оптоэлектромеханические микрокомпоненты: резонаторы, зеркала, линзы, затворы, фильтры; оптопереключатели.

**Тема 3. Микромеханизмы, микропривод, микромашины (24 академ. часов)**

Микросистемы для генерации и преобразования энергии и движения: электростатические и электромагнитные микродвигатели, пьезодвижатели, микроэлектрогенераторы, микротурбины, микросопла, пневматические и оптомеханические микроприводы движения, микроприводы движения на эффекте "памяти формы", "интеллектуальные" конформные поверхности. Микросистемы хранения и рекуперации энергии.

**Тема 4. Аналитические микросистемы (18 академ. часов)**

Интеллектуальные и мультисенсорные системы: искусственный нос, искусственный язык, мультисенсорные матрицы. Миниатюрные аналитические приборы: оптические микроспектрометры, микрохроматографы, микромасс-спектрометры. Миниатюрные медико-биологические приборы: матричные и капиллярно-флюидные микросистемы (чипы).

**Тема 5. Технологические микросистемы (18 академ. часов)**

Компоненты технологических микро- и наносистем: микроклапаны, микронасосы, микродозаторы, микросмесители, микросепараторы, микротранспортеры, микрореакторы. Микро- и наноинструмент: микросхватыватели, микроножи, микросверла, микрозонды. Кластерные технологические микросистемы: микрохимические лаборатории, участки микросборки, минифабрики.

**Тема 6. Миниатюрные робототехнические системы (8 академ. часов)**

Миниатюрные автономные транспортные системы: наземные, воздушные, космические. Мини-роботы для медицины и технической диагностики. Интеграция компонентов микроэлектроники и микро- и наносистемной техники.

**Заключение (2 академ. часов)**

Перспективы развития и применения микро- и наносистем.

## **Перечень лабораторных работ**

- 1 Исследование конструкции и топологии тензорезистивного датчика давления с плоской мембраной.
- 2 Исследование конструкции и топологии тензорезистивного датчика давления с профилированной мембраной.
- 3 Исследование конструкции и топологии струнного акселерометра.
- 4 Исследование конструкции и топологии тензорезистивного микроакселерометра.
- 5 Исследование конструкции и топологии емкостного микроакселерометра.
- 6 Исследование конструкции и топологии вибрационного микрогироскопа.



## **Перечень практических занятий**

- 1 Расчет профилей травления мембран при анизотропном травлении Si (100)
- 2 Расчет прогиба и деформации тонкой пластины
- 3 Расчет прогиба тонкой мембраны
- 4 Расчет прогиба и деформации микробалки
- 5 Расчет частотных характеристик микроструктуры
- 6 Расчет чувствительности тензорезистивного датчика давления
- 7 Анализ электростатических сил в поверхностном микроакселерометре
- 8 Расчет параметров пьезоэлектрического и электретного преобразователей
- 9 Расчет характеристик терморезистивного преобразователя
- 10 Расчет динамических характеристик микронагревателя

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Название, библиографическое описание	Семестр	К-во экз. в библиот. (на кафедр.)
<b>Основная литература</b>			
1	Микроэлектронные преобразователи физических величин [Текст] : учеб. пособие / А.Д.Смирнов ; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ". - СПб. : Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2001. - 31 с.	8	31
	Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Л: Энергоатомиздат, 1983.	8	28
	Корляков А. В., Афанасьев А. В. Микро- и наносистемная техника. - СПб, СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2017. - <a href="https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2990">https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2990</a>	8	База ЭОР ЭИОС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
	Корляков А. В., Афанасьев А. В. Лабораторный практикум по микросистемной технике. - СПб, СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2017. - <a href="https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/3083">https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/3083</a>	8	База ЭОР ЭИОС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
<b>Дополнительная литература</b>			
1	Распопов В.Я. Микромеханические приборы. Учебное пособие./Тул. Гос. университет. - Тула, 2002 г.	8	10
2	Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон и др. Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Пер. с франц. М.: Мир, 1992.	8	4
3	Ваганов В.И. Интегральные тензопреобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1983.	8	2
4	Малов В.В. Пьезорезонансные датчики М: Энергоатомиздат, 1993.	8	2

Зав. отделом учебной литературы

Т.В. Киселева

*зам. профессора Светлана Косовкина Т.К.*

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети  
«Интернет», используемых при освоении дисциплины**

№	Электронный адрес
1	<a href="http://www.microsystems.ru">http://www.microsystems.ru</a>
2	<a href="http://www.autex.spb.ru/sensor/mems_sens/sensor.html">http://www.autex.spb.ru/sensor/mems_sens/sensor.html</a>
3	<a href="http://micromachine.narod.ru">http://micromachine.narod.ru</a>

Информационные технологии (операционные системы, программное обеспечение общего и специализированного назначения, а также информационные справочные системы) и материально-техническая база, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Описание информационных технологий и материально-технической базы приведено в УМКД дисциплины в методических указаниях к лабораторным работам, учебных пособиях к практическим занятиям.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине и методика текущего контроля содержатся в учебно-методическом комплексе дисциплины.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплин (содержащиеся в ООП) доводятся до сведения обучающихся в течение первых недель обучения.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**Разработчик**

д.т.н., проф.



Корляков А.В.

**Рецензент**


к.т.н., доц.



Иванов Б.В.

**Зав. каф. МНЭ**

д.т.н., проф.



Лучинин В.В.

**Декан факультета электроники**

д.ф.-м.н., проф.



Соломонов А.В.

**Согласовано**

**Председатель УМК факультета электроники**

к.ф.-м.н., доц.



Александрова О.А.

**Начальник МО**

д.т.н., проф.



Грязнова А.Ю.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Дата	Изменение	Дата заседания УМК, № прот-ла	Автор	Нач. МО
1	26.04.2018	Дисциплина добавлена в учебный план №325	протокол № 2 от 16 марта 2018.	Корляков А.В.	Грязнов А.Ю. 