


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

 УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета радиотехники  
и электроники  
 / В.А. Небольсин /  
31 августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины  
«Технологии МЭМС»**

**Направление подготовки** 28.03.02 Наноинженерия

**Профиль** Инженерные нанотехнологии в приборостроении

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2021

Автор программы

 Т.Г. Меньшикова

И.о. заведующего кафедрой  
полупроводниковой электроники  
и наноэлектроники

 А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

 А.А. Винокуров

**Воронеж 2021**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** формирование у обучающихся знаний о базовых технологических процессах изготовления микроэлектромеханических систем (МЭМС).

**1.2. Задачи освоения дисциплины:** знать особенности изготовления микромеханических датчиков, связанные с получением подвижных чувствительных элементов: методы анизотропного травления (жидкостного и плазменного) конструктивных слоев МЭМС и размерного стоп-травления, технологии объемной и поверхностной микрообработки, технология LIGA, технологии SOIMUMPs и PoliMUMPs и др.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.16 «Технологии МЭМС» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Технологии МЭМС» направлен на формирование следующих компетенций:

**ПК-6:** способен анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материал в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;

**ПК-8:** способен моделировать технологические модули и процессы производства изделий МСТ;

**ПК-9:** готов разрабатывать технологическую документацию для производства изделий МСТ.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-6	знать методы обработки результатов исследований,
	уметь представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;
	владеть анализом и систематизацией результатов исследований.
ПК-8	знать технологические маршруты производства изделий МСТ;
	уметь проводить расчеты режимов выполнения технологических операций производства изделий МСТ;
	владеть методами моделирования процессов производства изделий МСТ.
ПК-9	знать типовые технологические режимы операций производства

	изделий МСТ; основные стандарты по оформлению технологической документации для производства изделий МСТ;
	<b>уметь</b> проводить статистический анализ параметров технологических операций и параметров изделий МСТ;
	<b>владеть</b> навыками оформления технологической документации в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации и Единой системы технологической подготовки производства.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Технологии МЭМС» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	50	50
В том числе:		
Лекции	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
<b>Самостоятельная работа</b>	94	94
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	36	36
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость	час	180
	зач. ед.	5
		180
		5

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

##### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего час
1	Технологический процесс изготовления МЭМС и его взаимосвязь с архитектурой изделия	Материалы микросистемной техники. Технологии изготовления МЭМС	4	-	6	10
2	Технологии объемной микрообработки	Технологии изотропного травления материалов. Технологии анизотропного «жидкостного» травления кремния. Технологии электроосаждения. Технология LIGA	14	12	38	64
3	Технологии поверхностной микрообработки	Технологии получения тонких пленок. Технологии анизотропного «сухого» травления кремния. Технологии высвобождения микроструктур. Технологии соединения и разъединения пластин	10	4	20	34

4	Технологии производства КМОП-МЭМС	Особенности технологий «КМОП-до», «КМОП-после», «КМОП-вместе». Технологические процессы iMEMS, SCREAM, SUMMiT-V, MUMPs, HexSil, HARPSS	6	-	30	36
<b>Всего</b>			<b>34</b>	<b>16</b>	<b>94</b>	<b>144</b>
<b>Контроль</b>						<b>36</b>
<b>Итого</b>						<b>180</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Технология и моделирование элементов МЭМС, получаемых микро-профилированием монокристаллического кремния.
2. Изучение процесса реактивно-ионного травления кремния.
3. Изучение процесса ХОГФ поликремния.
4. Изучение процесса электроосаждения металла.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Технологии МЭМС» предусматривает выполнение курсовой работы в 7 семестре.

Примерная тематика курсовых работ:

1. Технология SOIMUMPs (по вариантам).
2. Технология DRIE (по вариантам).
3. Технология METU-MET (по вариантам).
4. Технология EFAB (по вариантам).
5. Технология MUMPs (по вариантам).

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- приобретение знаний о технологиях изготовления изделий микросистемной техники;
- приобретение навыков расчета режимов выполнения технологических операций производства изделий МСТ;
- приобретение навыков представления результатов исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

Учебным планом по дисциплине «Технологии МЭМС» не предусмотрено выполнение контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-6	знать методы обработки результатов исследований,	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть анализом и систематизацией результатов исследований.	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-8	знать технологические маршруты производства изделий МСТ;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить расчеты режимов выполнения технологических операций производства изделий МСТ;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами моделирования процессов производства изделий МСТ.	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-9	знать типовые технологические режимы операций производства изделий МСТ; основные стандарты по оформлению технологической документации для производства изделий МСТ;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить статистический анализ параметров технологических операций и параметров изделий МСТ;	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками оформления технологической документации в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации и Единой системы технологической подготовки производства.	Выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-6	знать методы обработки результатов исследований,	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь представлять результаты исследований в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть анализом и систематизацией результатов исследований.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-8	знать технологические маршруты производства изделий МСТ;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь проводить расчеты режимов выполнения технологических операций производства изделий МСТ;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами моделирования процессов производства изделий МСТ.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-9	знать типовые технологические режимы операций производства изделий МСТ; основные стандарты по оформлению технологической документации для производства изделий МСТ;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь проводить статистический анализ параметров технологических операций и параметров изделий МСТ;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками оформления технологической документации в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации и Единой системы технологической подготовки производства.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## **7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### **7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

1. Рост термического окисла происходит следующим образом:
  1. атомы кремния продвигаются к поверхности оксида и вступают в реакцию с кислородом;
  2. оксид кремния осаждается на подложку;
  3. молекулы кислорода диффундируют к поверхности кремния через слой оксида и вступают в реакцию.
  
2. Ловушка Фарадея в методе ионной имплантации служит для:
  1. подавления вторичной электронной эмиссии;
  2. отслеживания нейтральных молекул;
  3. сепарации ионов.
  
3. При высоких уровнях легирования с коэффициентом диффузии происходит:
  1. небольшое увеличение;
  2. значительное увеличение;
  3. значительное снижение.
  
4. Кремний для нужд микроэлектронного производства получают из:
  1. графита;
  2. глины;
  3. речного песка.
  
5. Недостаток, свойственный методу контактной оптической литографии – наличие:
  1. загрязнений на поверхности пластины;
  2. поверхностного заряда;
  3. поверхностных состояний.
  
6. При изготовлении фотошаблонов для рентгеновской литографии как поглощающий материал используют:
  1. медь;
  2. платину;
  3. золото.
  
7. Работа атомно-силового микроскопа основана на использовании:
  1. сил межатомного взаимодействия;
  2. электрического взаимодействия;
  3. магнитного взаимодействия.
  
8. Взаимодействие между атомами поверхности и зонда описывается потенциалом:
  1. Леннарда Джонса;
  2. точечного заряда;
  3. Гиббса.
  
9. Спектром длин волн меньше  $1 \text{ \AA}$  обладает:
  1. гамма-излучение;

2. рентгеновское излучение;
  3. УФ-излучение.
10. Двухпроходным методом АСМ не является:
1. магнитно-силовая микроскопия;
  2. контактная атомно-силовая микроскопия;
  3. метод Кельвина.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Ширина запрещенной зоны кремния:
  1. 1,6 эВ;
  2. 0,98 эВ;
  3. 1,12 эВ;
  4. 8,9 эВ.
2. В состав газов травителей алюминия обязательно входит:
  1. хлор;
  2. фтор;
  3. йод;
  4. бор.
3. Лучшую очистку поверхности для молекулярно-лучевой эпитаксии обеспечивает:
  1. очистка поверхности с помощью пучка низко-энергетических ионов инертного газа;
  2. высокотемпературный отжиг.
4. Какой из методов окисления применяется наиболее часто?
  1. термическое окисление;
  2. осаждение  $\text{SiO}_2$  из газовой фазы.
5. Модель Дила-Гроува применима в диапазоне температур:
  1. 300 – 700 °С;
  2. 700 – 1300 °С;
  3. 900 – 1100 °С.
6. Скрытый  $n^+$ -слой в при производстве биполярных ИС формируют для:
  1. уменьшения сопротивления коллектора;
  2. повышения напряжения пробоя перехода коллектор – база;
  3. электрической изоляции приборов, находящихся на одной подложке.
7. Профиль распределения легирующей примеси при ионной имплантации описывается с помощью статистического распределения:
  1. Стьюдента;
  2. Гаусса;
  3. Ферми-Дирака.
8. При термическом окислении можно получить оксидную пленку толщиной:
  1. 0,3 – 0,4 мкм;
  2. 1 – 2 мкм;
  3. 9 – 12 мкм;
  4. без ограничений.



9. По какому механизму диффундируют В и Р?

1. диссоциативному;
2. междоузельному;
3. вакансионному;
4. краудсионному.

10. К металлизации предъявляется требование:

1. высокое удельное сопротивление;
2. низкая пластичность;
3. хорошая адгезия.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Рассчитать величину подтравливания кремния в плоскости (100) под защитную маску за время травления 1 ч, если скорости травления в направлениях, перпендикулярных плоскостям (100) и (111), равны соответственно 100 мкм/ч 0,5 мкм/ч.

2. Рассчитать ширину дна канавки в кремнии ориентации (100), образуемой стенками ориентации (111), если травление происходит через окно в маске шириной 10 мкм на глубину 5 мкм.

3. Рассчитать размеры окна в маске для получения анизотропным двухсторонним травлением пластины кремния ориентации (100) толщиной 0,38 мм сквозного отверстия размером  $1,3 \times 1,3$  мкм<sup>2</sup>.

4. Рассчитать толщину диоксида кремния для сквозного травления кремниевой подложки толщиной 380 мкм, если селективность в 7 М КОН при 60 °С для Si/SiO<sub>2</sub> составляет 90.

5. Рассчитать допустимое максимальное остаточное давление в камере установки вакуум-термического напыления алюминия ( $T_{исп} = 1150$  °С), если расстояние от испарителя до подложкодержателя составляет 50 см.

6. Определить режим течения газа через реактор при величине зазора между подложкодержателем и внутренней стенкой реактора диаметром 40 см 7 см, если объемный расход парогазовой смеси, имеющей коэффициент кинематической вязкости  $1,4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с, приведенный к нормальным условиям, составляет  $7,2 \cdot 10^{-2}$  м<sup>3</sup>/с. Процесс химического осаждения из газовой фазы проводится при температуре 1200 °С.

7. Рассчитать скорость осаждения кремния в процессе химического осаждения из газовой фазы при плотности потока кремния, конденсирующегося в диффузионном режиме на подложке,  $4,57 \cdot 10^{-7}$  моль/(см<sup>2</sup>·с).

8. Рассчитать процесс двухстороннего нагрева пластины кремния диаметром 100 мм и толщиной 380 мкм. Коэффициент теплоотдачи 1100 Дж/(м<sup>2</sup>·с·К), начальная температура 20 °С, конечная – 1000 °С.

9. Рассчитать толщину динамического пограничного слоя, возникающего у поверхности подложки в процессе её травления в парогазовой смеси, содержащей молярную долю 0,1 HF в водороде. Температура процесса 900 °С. Скорость движения ПГС 3 м/с.

10. Оценить однородность по толщине напыляемого термическим испарением слоя алюминия при  $T_{исп} = 1150$  °С, если расстояние от испарителя до подложкодержателя составляет 50 см, а диаметр подложки равен 150 мм.

### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Материаловедческие аспекты микро- и наноэлектромеханических систем
2. Особенности и области применения технологии объемной микрообработки кремния
3. Особенности и области применения технологии поверхностной микрообработки кремния
4. Особенности и области технологии LIGA
5. Технологии высвобождения микроструктур
6. Герметичное и вакуумное корпусирование и их применения
7. Проблемы интеграции процессов микрообработки и КМОП-технологии
8. Режимы и лимитирующая стадия гетерогенного химического процесса
9. Требования к пленочным покрытиям и методы осаждения тонких пленок
10. Нанесение тонких пленок методами вакуум-термического напыления и магнетронного распыления
11. Особенности механизмов процессов химического осаждения из газовой фазы
12. Технология электрохимического осаждения
13. Изотропное травление кремния
14. Анизотропное травление кремния
15. Селективное травление кремния
16. Технология плазмохимического травления кремния
17. Технология реактивно-ионного травления кремния
18. Технологии соединения подложек
19. Пассивация поверхности
20. Охарактеризуйте основные виды химико-технологических процессов в производстве ИС
21. Основные химико-технологические процессы литографии и используемое оборудование
22. Приведите технологический маршрут изготовления *n*-МОП ИС
23. Приведите технологический маршрут изготовления КМОП ИС
24. Единая система технологической документации
25. Единая система технологической подготовки производства
26. Технология MUMPs
27. Технология SOIMUMPs
28. Технология DRIE
29. Технология METU-MET
30. Технология EFAB

### **7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

1. Оценка «Отлично». Корректное использование широкого спектра научных понятий. Рассуждения логически непротиворечивы, последовательны, выявлены причинно-следственные связи, осуществлен последовательный анализ проблемы, все выводы обоснованы достоверной фактологической базой.

Продемонстрировано умение целостно видеть проблему, выделять ее ключевое звено.

2. Оценка «Хорошо». Достаточный уровень знаний. Может быть продемонстрировано знание основных принципов и концепций при наличии некоторых несущественных пробелов. Целостное видение рассматриваемой проблемы присутствует, но не до конца выражено в авторском анализе.

3. Оценка «Удовлетворительно». Удовлетворительный уровень знаний. Налицо ряд пробелов в знании основных принципов и концепций. Анализ проблемы проведен фрагментарно. Выводы в основном верные, но в рассуждении допущены логические пробелы, мешающие целостному видению рассматриваемой проблемы.

4. Оценка «Неудовлетворительно». Низкий уровень знаний. Допущены существенные ошибки. Отсутствие логических рассуждений, понимания проблемы, необоснованность выводов.

При получении оценок «Отлично», «Хорошо» и «Удовлетворительно» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

<b>№ п/п</b>	<b>Контролируемые разделы (темы) дисциплины</b>	<b>Код контролируемой компетенции</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
1	Технологический процесс изготовления МЭМС и его взаимосвязь с архитектурой изделия	ПК-6, ПК-8, ПК-9	Тест, устный опрос, требования к курсовой работе
2	Технологии объемной микрообработки	ПК-6, ПК-8, ПК-9	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ
3	Технологии поверхностной микрообработки	ПК-6, ПК-8, ПК-9	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ
4	Технологии производства КМОП-МЭМС	ПК-6, ПК-8, ПК-9	Тест, устный опрос, требования к курсовой работе

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### Основная литература

1. **Коледов Л.А.** Технологии и конструкции микросхем, микропроцессов и микросборок: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стереотип. - СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2009. – 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8
2. **Коледов Л.А.** Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2021. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/167750>
3. **Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий:** учеб. пособие : в 2 т. Т. 2: Технологические аспекты / М.В. Акуленок, В.М. Андреев, Д.Г. Громов и др.; под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 252 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0336-6 (Т. 2). - ISBN 978-5-9963-0341-0
4. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч.1. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005. – 142 с.
5. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч.2. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. – 172 с.
6. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч.3. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. – 227 с.
7. **Липатов Г.И.** Технология материалов и изделий электронной техники: учеб. пособие. Ч.4. / Г.И. Липатов. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 173 с.

#### Дополнительная литература

8. **Родионов Ю.А.** Технологические процессы в микро- и наноэлектронике [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.А. Родионов. - М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. - 352 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 12.08.2024 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-9729-0337-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/86656.html>
9. **Липатов Г.И.** Компоненты микросистемной техники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.И. Липатов. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. – 178 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2025 (автопродлонгация). – ISBN 978-5-7731-0799-6. URL: <http://www.iprbookshop.ru/93319.html>
10. **Косых А.В.** Микроэлектромеханические системы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.В. Косых, А.Н. Лепетаев, А.И. Одинец. - Омск: ОмГТУ, 2016. - 247 с. - Книга из

коллекции ОмГТУ - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8149-2355-4. URL: <https://e.lanbook.com/book/149116>

11. **Мухуров Н.И.** Электромеханические микроустройства [Электронный ресурс]: монография / Н.И. Мухуров, Г.И. Ефремов. – Мн.: Белорусская наука, 2012. - 258 с. - ISBN 978-985-08-1419-7. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=142339>

12. **Бахратов А.Р.** Тестовые задачи по технологии микромеханических гироскопов и акселерометров [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Р. Бахратов. – М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2009. - 36 с. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 31.12.2021 (автопродлонгация). - ISBN 2227-8397. URL: <http://www.iprbookshop.ru/31290.html>

13. **Технология СБИС:** в 2-х кн. Кн. 1 / под ред. С. Зи; пер. с англ. под ред. Ю.Д. Чистякова. – М.: Мир, 1986. – 404 с.

14. **Технология СБИС:** в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. С. Зи; пер. с англ. под ред. Ю.Д. Чистякова. – М.: Мир, 1986. – 453 с.

15. **Готра З.Ю.** Технология микроэлектронных устройств : Справочник / З.Ю. Готра, И.М. Николаев. – М.: Радио и связь, 1991. - 527 с. - ISBN 5-256-00699-1

16. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3, 4 по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники» для студентов специальности 210207 «Электронное машиностроение» очной формы обучения /** Каф. технологических и автоматизированных систем электронного машиностроения; Сост. Г.И. Липатов. - Воронеж : ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 37 с. (№ 87-2010)

17. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 5 - 7 по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники» для студентов специальности 210207 «Электронное машиностроение» очной формы обучения /** Каф. технологических и автоматизированных систем электронного машиностроения; Сост. Г. И. Липатов. - Воронеж : ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 36 с. (№ 88-2010)

18. ГОСТ 2.105-2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 35 с.

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

**Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:**

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

**Используемые электронные библиотечные системы:**

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»:  
<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;

- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

#### **Информационные справочные системы:**

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>
- официальный сайт АО «ВЗПП-Сборка» <http://www.vzpp-s.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**1. Специализированная аудитория** для чтения лекций, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, находящаяся на территории профильного предприятия АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Сборка» («ВЗПП-Сборка»), расположенного по адресу: г. Воронеж, Ленинский пр., 119-а.

**2. Производственное оборудование** для проведения лабораторных работ, размещенное на территории профильного предприятия АО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Сборка» («ВЗПП-Сборка»), расположенного по адресу: г. Воронеж, Ленинский пр., 119-а.

**3. Лаборатория автоматизации технологических процессов** для самостоятельной работы студентов, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 216/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), оснащенный необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);

рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 15 человек.

компьютер в составе: системный блок iRU Ergo Corp 1294, клавиатура, мышь, монитор 19"LCD – 10 шт.

огнетушитель.

## **10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

По дисциплине «Технологии МЭМС» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные занятия направлены на приобретение практических навыков работы на технологическом оборудовании. Занятия проводятся путем выполнения лабораторных работ на профильном предприятии АО «ВЗПП-Сборка».

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятель-

ной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы студенты должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется тестированием и защитой курсовой работы. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
Курсовая работа	При выполнении курсовой работы студенты должны научиться правильно и творчески использовать знания, полученные ими на лекциях и лабораторных занятиях. Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы: <ul style="list-style-type: none"><li>- осуществить поиск необходимой информации по теме работы;</li><li>- систематизировать найденную информацию;</li><li>- осуществить обзор литературных источников по заданной теме;</li><li>- выработать умения решать прикладные задачи</li></ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			
4			