

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  В.А. Небольсин  
«29» июня 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

«Микро- и наносенсорика»

**Направление подготовки** 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

**Профиль** Нано- и микросистемная техника

**Квалификация выпускника** магистр

**Нормативный период обучения** 2 года

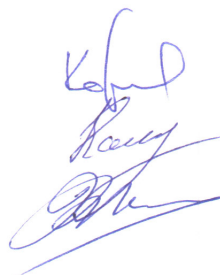
**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2018

Автор программы

Зав. кафедрой физики твердого тела

Руководитель ОПОП



/К.Г. Королев/

/Ю.Е. Калинин/

/А.В. Калгин/

Воронеж 2018

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Формирование знаний и умений в области физико-химических принципов работы, технологических особенностей производства и создания интегрированных сенсоров для систем управления, робототехники, контроля жидких и газовых сред

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Расширение знаний принципов работы датчиков на основе гальваноманнитных эффектов, датчиков давления, температуры, теплового излучения, скорости, ускорения, радиоактивного излучения, влажности, изображения, газоанализаторов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Микро- и наносенсорика» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Микро- и наносенсорика» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способен принимать участие в осуществлении расчета режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем

ПК-3 - Способен принимать участие в разработке наногетероструктурных СВЧ устройств

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции   |
|-------------|---|
| ПК-2        | Знать технологический процесс изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем   |
|             | Уметь проводить расчет режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем   |
|             | Владеть способностью принимать участие в осуществлении расчета режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем |
| ПК-3        | Знать принцип работы наногетероструктурных устройств  |
|             | Уметь разрабатывать наногетероструктурные устройства  |
|             | Владеть способностью принимать участие в разработке наногетероструктурных устройств   |

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Микро- и наносенсорика» составляет 5 з.е.

**Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
очная форма обучения**

| Виды учебной работы                                  | Всего часов | Семестры |
|--|-------------|----------|
|  |             | 3        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                    | 54          | 54       |
| В том числе:   |             |          |
| Лекции   | 36          | 36       |
| Практические занятия (ПЗ)                            | 18          | 18       |
| <b>Самостоятельная работа</b>                        | 99          | 99       |
| Часы на контроль                                     | 27          | 27       |
| Виды промежуточной аттестации - экзамен              | +           | +        |
| Общая трудоемкость:<br>академические часы<br>зач.ед. | 180<br>5    | 180<br>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 | Прак зан. | СРС | Всего, час |
|-------|--|---|------|-----------|-----|------------|
| 1     | Элементы метрологии                          | Систематические и случайные погрешности. Основные методы построения градуировочных графиков. Электрические схемы формирования выходного сигнала пассивных сенсоров. Статический и динамический режим работы сенсоров  | 4    | 2         | 11  | 17         |
| 2     | Датчики на основе гальваномагнитных эффектов | Датчики магнитного поля на основе эффекта Холла. Магниторезистивные преобразователи. Гальваномагнитные преобразователи на активных элементах. Гальваномагниторекомбинационные преобразователи. Магниточувствительные интегральные схемы.  | 4    | 2         | 11  | 17         |
| 3     | Датчики давления                             | Тензорезистивный эффект в полупроводниках. Первичные тензопреобразователи. Классификация интегральных тензопреобразователей давления. Принципы размещения тензорезисторов на мембранах полупроводниковых и интегральных тензопреобразователей давления  | 4    | 2         | 11  | 17         |
| 4     | Датчики температуры и теплового излучения    | Терморезистивные датчики. Термоэлектрические контактные датчики. Полупроводниковые датчики температуры на основе р-п перехода. Детекторы ИК-излучения.  | 4    | 2         | 11  | 17         |
| 5     | Датчики скорости и ускорения                 | Акселерометры. Гироскопы.   | 4    | 2         | 11  | 17         |
| 6     | Газоанализаторы                              | Адсорбция на поверхности твердых тел. Датчики на основе окислов металлов. Датчики на органических полупроводниках. Каталитические датчики. Электрохимические газовые датчики. Датчики на основе МДП-структур. Газовые датчики с барьером Шоттки. Газовые датчики на основе приборов, чувствительных к изменению массы | 4    | 2         | 11  | 17         |
| 7     | Датчики влажности                            | Единицы измерения влажности.  | 4    | 2         | 11  | 17         |

|              |                                    |  |           |           |           |            |
|--------------|------------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|------------|
|              |                                    | Температурно-градиентные датчики влажности. Сорбционные датчики влажности  |           |           |           |            |
| 8            | Датчики изображения                | Физические основы принципов работы полупроводниковых датчиков изображения. Составляющие элементы датчиков изображения. Виды полупроводниковых датчиков изображения и их основные функции. Особенности конструкций полупроводниковых датчиков изображения. Микролинзы. Датчики изображения с обратной засветкой. Организация переноса кадра в ПЗС-матрицах. Преимущества и недостатки КМОП перед ПЗС-матрицами. | 4         | 2         | 11        | 17         |
| 9            | Детекторы радиоактивного излучения | Сцинтилляционные детекторы. Ионизационные детекторы.   | 4         | 2         | 11        | 17         |
| <b>Итого</b> |                                    |  | <b>36</b> | <b>18</b> | <b>99</b> | <b>153</b> |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или 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-2        | Знать технологический процесс изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем                                       | Активная работа на лабораторных и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсовой работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | Уметь проводить расчет режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем | Решение стандартных практических задач, написание курсовой работы   | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | Владеть способностью принимать участие в осуществлении расчета  | Решение прикладных задач в конкретной предметной области,   | Выполнение работ в срок, предусмотренный в                    | Невыполнение работ в срок, предусмотренный                      |

|      |  |   |   |   |
|------|--|---|---|---|
|      | режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем | выполнение плана работ по разработке курсовой работы  | рабочих программах  | в рабочих программах  |
| ПК-3 | Знать принцип работы наногетероструктурных устройств   | Активная работа на лабораторных и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсовой работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | Уметь разрабатывать наногетероструктурные устройства   | Решение стандартных практических задач, написание курсовой работы   | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | Владеть способностью принимать участие в разработке наногетероструктурных устройств                      | Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсовой работы        | 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 3 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-2        | Знать технологический процесс изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем   | Тест   | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%  | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | Уметь проводить расчет режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем                       | 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 способностью принимать участие в осуществлении расчета режимов и контроля технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов и | 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         | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |

|      |   |  |  |   |  |                                      |
|------|---|--|--|---|--|--------------------------------------|
|      | интегральных схем   |  |  | задачах   |  |                                      |
| ПК-3 | Знать принцип работы наногетероструктурных устройств                                | Тест   | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%  | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|      | Уметь разрабатывать наногетероструктурные устройства                                | 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 способностью принимать участие в разработке наногетероструктурных устройств | 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 (типичные 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 (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)**

**7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)**

**7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)**

**7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

Не предусмотрено учебным планом

**7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

*7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету*

*Систематические и случайные погрешности. Основные методы построения градуировочных графиков. Электрические схемы формирования выходного сигнала пассивных сенсоров. Статический и динамический режим работы сенсоров*

*Датчики магнитного поля на основе эффекта Холла. Магниторезистивные преобразователи. Гальваномагнитные преобразователи на активных элементах. Гальваномагниторекомбинационные преобразователи. Магниточувствительные интегральные схемы.*

*Тензорезистивный эффект в полупроводниках. Первичные тензопреобразователи. Классификация интегральных тензопреобразователей давления. Принципы размещения тензорезисторов на мембранах полупроводниковых и интегральных тензопреобразователей давления*

*Терморезистивные датчики. Термоэлектрические контактные*

датчики. Полупроводниковые датчики температуры на основе p-n перехода. Детекторы ИК-излучения.

Акселерометры. Гироскопы.

Адсорбция на поверхности твердых тел. Датчики на основе окислов металлов. Датчики на органических полупроводниках. Каталитические датчики. Электрохимические газовые датчики. Датчики на основе МДП-структур. Газовые датчики с барьером Шоттки. Газовые датчики на основе приборов, чувствительных к изменению массы

Единицы измерения влажности. Температурно-градиентные датчики влажности. Сорбционные датчики влажности

Физические основы принципов работы полупроводниковых датчиков изображения. Составляющие элементы датчиков изображения. Виды полупроводниковых датчиков изображения и их основные функции. Особенности конструкций полупроводниковых датчиков изображения. Микролинзы. Датчики изображения с обратной засветкой. Организация переноса кадра в ПЗС-матрицах. Преимущества и недостатки КМОП перед ПЗС-матрицами.

Сцинтилляционные детекторы. Ионизационные детекторы.

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

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины     | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства   |
|-------|--|--------------------------------|--|
| 1     | Элементы метрологии                          | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 2     | Датчики на основе гальваномагнитных эффектов | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |

|   |   |            |  |
|---|---|------------|--|
| 3 | Датчики давления                          | ПК-2, ПК-3 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 4 | Датчики температуры и теплового излучения | ПК-2, ПК-3 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 5 | Датчики скорости и ускорения              | ПК-2, ПК-3 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 6 | Газоанализаторы                           | ПК-2, ПК-3 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 7 | Датчики влажности                         | ПК-2, ПК-3 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 8 | Датчики изображения                       | ПК-2, ПК-3 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |
| 9 | Детекторы радиоактивного излучения        | ПК-2, ПК-3 | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту.... |

### **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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

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

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

1. Родионов, Ю. А. Основы микросенсорики [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Ю. А. Родионов. - Основы микросенсорики ; 2024-08-12. - Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 288 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 12.08.2024 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-9729-0336-8.

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

- *Microsoft Word*
- <http://cchgeu.ru>
- <http://elibrary.ru>

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

*Для проведения лекционных, лабораторных и практических занятий необходима аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой, персональными компьютерами с возможностью выхода в интернет.*

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Микро- и наносенсорика» читаются лекции, проводятся практические занятия.

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета устройств микросенсорной техники. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента  |
|---------------------|--|
| Лекция              | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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.   |
| Практическое занятие                  | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.   |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:<br>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;<br>- выполнение домашних заданий и расчетов;<br>- работа над темами для самостоятельного изучения;<br>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;<br>- подготовка к промежуточной аттестации. |
| 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.   |