

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20__ г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.Б.11 «ВВЕДЕНИЕ В НАНОИНЖЕНЕРИЮ»

для направления подготовки (специальности)

28.03.02 «Наноинженерия»

(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация)

«Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения: очная

Срок обучения: нормативный

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: Липатов Г.И., кандидат технических наук

(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ

(наименование факультета)

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Председатель методической комиссии _____ Е.Н. Корвин

Воронеж 2017 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ВВЕДЕНИЕ В НАНОИНЖЕНЕРИЮ»

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и наноэлектроники (ППЭНЭ)

Направление подготовки (специальности): 28.03.02 «Наноинженерия»

Профиль: «Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

Часов по УП: 108 / **Часов по РПД:** 108

Часов по УП (без учета на экзамены): 108/ **Часов по РПД:** 108

Часов на самостоятельную работу по УП: 72 (66,7 %)

Часов на самостоятельную работу по РПД: 72 (66,7 %)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 3

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены —; Зачеты 1; Курсовые проекты —;
Курсовые работы —.

Форма обучения: очная. **Срок обучения:** нормативный

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Вид занятия | № семестров, число учебных недель в семестрах | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------------|------------|
| | 1/18 | | 2/18 | | 3/18 | | 4/18 | | 5/18 | | 6/18 | | 7/18 | | 8/12 | | Итого | |
| | УП | РПД | УП | РПД | УП | РПД | УП | РПД | УП | РПД | УП | РПД | УП | РПД | УП | РПД | УП | РПД |
| Лекции | 36 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | 36 | 36 |
| Лабораторные | — | — | | | | | | | | | | | | | | | — | — |
| Практические | — | — | | | | | | | | | | | | | | | — | — |
| Ауд. занятия | 36 | 36 | | | | | | | | | | | | | | | 36 | 36 |
| Сам. работа | 72 | 72 | | | | | | | | | | | | | | | 72 | 72 |
| Итого | 108 | 108 | | | | | | | | | | | | | | | 108 | 108 |

Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) — государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки бакалавра по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 3 декабря 2015 г. № 1414.

Программу составил канд. техн. наук, доцент

Г.И. Липатов

Рецензент: д-р ф.-м. наук, профессор

С.И. Рембеза

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 «Наноинженерия», профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении».

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ППЭНЭ.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н. Коровин

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| | |
|-------|---|
| 1.1 | Целью изучения дисциплины «Введение в наноинженерию» является ознакомление обучающихся в простой и доступной форме с общими принципами организации учебного процесса в университете, основными положениями и определениями наноинженерии, ролью конструктора и технолога в создании современных микросистем |
| 1.2 | Для достижения цели ставятся задачи приобретения студентами знаний об: |
| 1.2.1 | истории и традициях ВГТУ, нормативных актах РФ в сфере высшего образования; |
| 1.2.2 | основных понятиях и содержании будущей специальности; |
| 1.2.3 | основах наноинженерии и нанотехнологий. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

| | | |
|-----------------------------------|--|------------------------------|
| Цикл (раздел) ОПОП: базовая часть | | Код дисциплины в УП: Б1.Б.11 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: Б1.Б.10 «Физика» | |
| 2.2 | Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Б1.В.ОД.9 «Физические основы наноинженерии» Б1.В.ДВ.1 «Основы производства изделий электронной техники» Б1.В.ДВ.2 «Перспективные технологические процессы производства ИЭТ» Б2.У.1 «Учебная практика» | |

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| Код и наименование компетенции | |
|--------------------------------|---|
| ОК-7 | способность к самоорганизации и самообразованию; |
| ОК-10 | способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности. |

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

| | |
|-----|--|
| 3.1 | Знать: историю формирования и развития нанотехнологии и инженерной нанотехнологии, основные термины и определения, вклад российских учёных в достижения наноинженерии, примеры эффективного использования наноструктурированных материалов (ОК-7). |
| 3.2 | Уметь: демонстрировать сведения о наноструктурах и наноструктурированных материалах, применяемых в различных областях науки и техники и отраслях промышленности, осуществлять поиск информации о современных материалах, технологических процессах и оборудовании, способных решать задачи наноинженерии (ОК-7). |
| 3.3 | Владеть: навыками поиска и систематизации информации из фундаментальных и периодических изданий по тематике направления подготовки (ОК-10). |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Неделя семестра | Виды учебной нагрузки и их трудоемкость в часах | | | | |
|-------|--|-----------------|---|----------------|-------------|-----|-------------|
| | | | Лекции | Практ. занятия | Лаб. работы | СРС | Всего часов |
| 1 | Организация учебного процесса в вузе | 1 | 2 | | | 2 | 4 |
| 2 | Основные научные направления в наноин- | 2 | 2 | | | 6 | 8 |

| | | | | | | | |
|---------------------|--|--------|-----------|--|--|-----------|------------|
| | женерии | | | | | | |
| 3 | Основы МЭМС/НЭМС | 3, 4 | 4 | | | 8 | 12 |
| 4 | Компонентная база микро- и наносистем | 5—8 | 8 | | | 16 | 24 |
| 5 | Проектирование и производство микро- и наносистем | 9—11 | 6 | | | 14 | 20 |
| 6 | Общие понятия об автоматизированном проектировании микро- и наносистем | 12, 13 | 4 | | | 6 | 10 |
| 7 | Основы нанотехнологий и наноинженерии | 14—18 | 10 | | | 20 | 32 |
| Итого часов: | | | 36 | | | 72 | 108 |

4.1 Лекции

| Неделя семестра | Тема и содержание лекции | Объем часов |
|-----------------|---|-------------|
| 1 | Организация учебного процесса в вузе: Закон РФ об образовании. Государственная политика в области образования. Ступени высшего образования. Государственный образовательный стандарт по направлению «Наноинженерия». Виды учебных занятий. Формы проверки знаний студентов. Курсовое и дипломное проектирование. Планирование учебной работы. Самостоятельная работа студентов. Учебный план по профилю подготовки (специализации) «Инженерные нанотехнологии в приборостроении» | 2 |
| 2 | Основные научные направления в наноинженерии: История возникновения и развития электроники. Микроэлектроника и микросистемная техника. Наноэлектроника и нанотехнологии | 2 |
| 3 | Основы МЭМС/НЭМС: Понятие о датчиках и исполнительных механизмах. Классификация МЭМС/НЭМС | 2 |
| 4 | Основы МЭМС/НЭМС: Дорожная карта МЭМС/НЭМС | 2 |
| 5 | Материаловедческие аспекты микро- и наноэлектромеханических систем | 2 |
| 6 | Датчики давления и инерциальные датчики | 2 |
| 7 | Оптические и радиочастотные МЭМС | 2 |
| 8 | Микрофлюидные устройства и их применение в лаборатории-на-чипе | 2 |
| 9 | Проектирование и производство микро- и наносистем: взаимосвязь электронной системы, электрической схемы, конструкции, технологии, производства и эксплуатации микро- и наносистем | 2 |
| 10 | Особенности конструкции микро- и наносистем, обусловленные применением современных технологических процессов и требований рынка | 2 |
| 11 | Развитие и возможности новых технологических процессов производства микро- и наносистем | |
| 12 | Общие понятия об автоматизированном проектировании микро- и наносистем: Роль методов автоматизированного проектирования в совершенствовании конструкций и технологии производства наносистем Особенности проектирования наносистем — состояние проблемы, терминология, понятия и определения | 2 |
| 13 | Математическое моделирование МЭМС/НЭМС | 2 |
| 14 | Основы нанотехнологий и наноинженерии: История микроминиатюризации. Основные термины, принципы, достижения и перспективы нанотехнологии и наноинженерии; важнейшие направления работ в этой сфере | 2 |
| 15 | Понятия «физическая структура ИС» и «топология ИС»: Биполярные, МОП и КМОП-структуры; понятие «технологическая совместимость» эле- | 2 |

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| | ментов микро- и наносистемной техники | |
| 16 | Основы формирования наноструктур и методов исследования наноматериалов | 2 |
| 17, 18 | Технологические процессы формирования микро- и наноструктур | 4 |
| Итого часов: | | 36 |

4.2 Практические занятия: не предусмотрены

4.3 Лабораторные работы: не предусмотрены

4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

| Неделя семестра | Содержание СРС | Виды контроля | Объем часов |
|-----------------|---|---------------------------------|-------------|
| 1—18 | Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы | Опрос | 36 |
| 2—16 | Выполнение индивидуальных заданий | Проверка выполненного задания | 22 |
| 6, 12 | Подготовка к контрольной работе | Выполнение контрольного задания | 6 |
| 18 | Подготовка к зачету | Зачет | 8 |
| Итого: | | | 72 |

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:

| | |
|-----|---|
| 5.1 | Лекции |
| 5.2 | Самостоятельная работа |
| 5.3 | Консультации по всем вопросам учебной программы |

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

| | |
|------------|---|
| 6.1 | Контрольные вопросы и задания Для текущего контроля успеваемости используются контрольные вопросы |
| 6.2 | Темы письменных работ В виде индивидуальных заданий |
| 6.3 | Другие виды контроля не предусмотрены |

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| 7.1 Рекомендуемая литература | | | | |
|------------------------------|---------------------|--|-----------------------|----------------|
| № п/п | Авторы/ составители | Заглавие | Вид и годы издания | Обеспеченность |
| 7.1.1 Основная литература | | | | |
| Л1.1 | Лозовский В.Н. | Нанотехнологии в электронике. — М.: Лань, 2012. — 296 с. | Учеб. для вузов, 2012 | 1 |
| Л1.2 | Под ред Б. Бхушана | Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах). М.: Техносфера, 2010. Т.1 — 864 с.; Т.2 — 1039 с.; Т.3 — 812 с. | Справочник, 2010 | 1 |
| Л1.3 | Мальшева И.А. | Технология производства интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1991. 344 с. | Учеб. для вузов, 1991 | 1 |

| 7.1.2 Дополнительная литература | | | | |
|---|----------------|--|---------------------|-----|
| Л2.1 | Под ред. С. Зи | Технология СБИС: В 2-х кн. М.: Мир, 1986. Кн.1 — 404 с.; кн.2 — 453 с. | Учеб. пособие, 1986 | 0,2 |
| Л2.2 | Распопов В.Я. | Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. — 400 с. | Учеб. пособие, 2007 | 1 |
| Л2.3 | Фрайден Дж. | Современные датчики. Справочник. М.: — Техносфера, 2006. 592 с. | Справочник, 2006 | 1 |
| Л2.4 | Джексон Р. | Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2007. — 384 с. | Справочник, 2007 | 1 |
| 7.1.3 Методические разработки | | | | |
| Не предусмотрены | | | | |
| 7.1.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы | | | | |
| Нано- и микросистемная техника. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.microsystems.ru | | | | |
| Презентации по курсу «Разработка и изготовления МЭМС» для лекционного курса Массачусетского института технологий (MIT): http://ocw.mit.edu/courses/electricalengineering-and-computer-science/6-777j-design-and-fabrication-of-microelectromechanical-devices-spring-2007/lecture-notes/ | | | | |
| Презентации Университета Миннесоты по курсу «МЭМС»: http://me.umn.edu/courses/me8254/lectnotes.html | | | | |
| Презентации Университета Техаса по курсу «Основы МЭМС»: http://www.uta.edu/utari/acs/jmireles/MEMSclass/MAINpage.htm | | | | |
| Презентация «MEMS Multiphysics Simulation in ANSYS» Workbench David Harrar \ Ozen Engineering, Inc. — 2016. — URL: http://www.ozeninc.com/downloads/PRESENTATIONMultiphysics_Simulation_for_MEMS_Using_Workbench.pdf | | | | |

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| |
|----------------------------------|
| Презентации и учебные видеofilмы |
|----------------------------------|

9. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств по дисциплине представляют собой перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий. Примеры:

1. Федеральные законы об образовании в РФ: принципы государственной политики в области образования, ступени высшего образования, государственные образовательные стандарты.
2. Каковы основные факторы развития микросистемной техники?
3. Классифицируйте микросистемную технику с учетом сложности и массогабаритных характеристик.
4. Назовите наиболее яркие конструктивно-технологические отличительные особенности микросистемной техники нового поколения.
5. Назовите сходные черты и различие технологических процессов микроэлектроники и микромеханики.
6. Каково основное конструктивно-топологическое отличие элементов микроэлектроники и микросистемной техники?
7. Основные технологические процессы в технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем.
8. Планарная технология.
9. Опишите основные операции и область применения технологии с использованием «жертвенного» слоя.
10. Опишите основные операции и область применения технологий анизотропного жидкостного и глубокого реактивно ионно-плазменного травления.
11. Опишите основные операции и область применения LIGA-технологии.

12. Опишите основные характеристики сенсоров.
13. Какими факторами определяется погрешность измерений сенсоров?
14. Опишите основные конструктивные варианты элементов микромеханических сенсоров. Дайте характеристику их свойств.
15. Какие физические механизмы определяют проявление пьезоэффекта?
16. Каков принцип действия и область применения емкостных сенсоров?
17. Опишите область применения, конструктивные особенности тензорезисторов
18. Опишите принцип действия датчика давлений. Для чего применяется мостовая измерительная схема?
19. Опишите принцип работы микромеханических гироскопов.
20. Какие механизмы активации используются для создания устройств микросмещения и микропозиционирования?
21. Опишите конструкции и принцип действия микрореле и коммутаторов.
22. Приведите примеры применения микросистемных компонентов в высокочастотных устройствах.
23. Опишите основные подходы к созданию систем «электронный нос».
24. $P-n$ переход и приборы на его основе.
25. Полевой транзистор — физическая структура и принцип работы.

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20__ г.

**Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД
«Введение в наноинженерию»**

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники.

Протокол № __ от « ____ » _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.А. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н. Коровин

«Согласовано»

С.А. Рембеза

Карта обеспеченности рекомендуемой литературой

| 7.1 Рекомендуемая литература | | | | |
|--|------------------------|--|-----------------------|---------------------|
| № п/п | Авторы/ составители | Заглавие | Вид и годы издания | Обеспе- ченность |
| 7.1.1 Основная литература | | | | |
| Л1.1 | Лозовский В.Н. | Нанотехнологии в электронике. — М.: Лань, 2008. — 296 с. | Учеб. для вузов, 2008 | 1 |
| Л1.2 | Под ред Б. Бхушана | Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах). М.: Техносфера, 2010. Т.1 — 864 с.; Т.2 — 1039 с.; Т.3 — 812 с. | Справочник, 2010 | 1 |
| Л1.3 | Мальшева И.А. | Технология производства интегральных микросхем. — М.: Радио и связь, 1991. — 344 с. | Учеб. для вузов, 1991 | 1 |
| 7.1.2 Дополнительная литература | | | | |
| Л2.1 | Под ред. С. Зи | Технология СБИС: В 2-х кн. — М.: Мир, 1986. Кн.1 — 404 с.; кн.2 — 453 с. | Учеб. пособие, 1986 | 0,2 |
| Л2.2 | Фрайден Дж. | Современные датчики. Справочник. — М.: Техносфера, 2006. — 592 с. | Справочник, 2006 | 1 |
| Л2.3 | Джексон Р. | Новейшие датчики. — М.: Техносфера, 2007. — 384 с. | Справочник, 2007 | 1 |
| 7.1.3 Методические разработки | | | | |
| Не предусмотрены | | | | |

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Зам. директора НТБ

Т.И. Буковшина