

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

| | |
|----------------------------|---|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Микроэлектронные устройства космических информационных систем |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космического приборостроения |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.А. Жуков, д-р техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры космического приборостроения 18.02.2025

Аннотация

Курс посвящен основным понятиям и определениям конструирования и технологии современных микроэлектронных устройств с точки зрения специфики их успешного применения в бортовой аппаратуре космических аппаратов, рассмотрено воздействие дестабилизирующих факторов космического пространства на различных орбитах на микроэлектронные изделия. Курс носит прикладной и междисциплинарный характер: представлены основные требования к ТЗ, НИР и ОКР, разрабатываемой КД, программам и методикам испытаний, основные технологические процессы изготовления полупроводниковых, гибридных интегральных микросхем, устройств микросистемной техники, особенности микроэлектронного производства. Отдельные темы посвящены контролю (входному, межоперационному, выходному), испытаниям микроэлектронных устройств как в составе аппаратуры, так и отдельно. В результате освоения курса слушатели приобретут общетехнические специальные знания в области конструирования и технологии устройств микроэлектроники и навыки научно-исследовательской работы и опытно-конструкторской разработки.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- рассмотрение основных принципов функционирования, типов, методов получения микроэлектронной компонентной базы.

Задачи дисциплины

- изучение микроэлектронной компонентной базы для применения в изделиях ракетно-космической техники;
- обучение студентов использованию нанотехнологий и компонентов устройств для космических систем связи, навигации и дистанционного зондирования Земли.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи | УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива |
| | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук;
- принципы функционирования, типы и методы получения микроэлектронной компонентной базы;

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- использовать нанотехнологии и компоненты устройств для космических систем связи, навигации и дистанционного зондирования Земли.

владеть:

- научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. | | | |
|---|--|---|----------|-----------------|----------------|
| | | Лекции | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | Предмет специальности «Микроэлектронные устройства космических информационных систем». | 1 | | | |
| 2 | Активные элементы, интегральные схемы, исполнительные элементы микромеханических устройств и сенсоров в микроисполнении. | 2 | 3 | | 2 |
| 3 | Устройства функциональной электроники. | 1 | 3 | | 1 |
| 4 | Современные методы моделирования и проектирования. | 1 | | | 1 |
| 5 | Физико-технологические основы микроэлектронной технологии для космического приборостроения. | 3 | 3 | | 2 |
| 6 | Основы технологии. | 1 | | | 1 |
| 7 | Физико-химические основы нанотехнологий. | 1 | 1 | | 1 |
| 8 | Методы контроля микро- и наноэлектронных устройств для космических информационных систем. | 1 | 1 | | 1 |
| 9 | Методы испытаний микроэлектронных устройств для космического приборостроения. | 1 | 2 | | 2 |

| | | | | | |
|-----------------------|---|--------------------|----|--|----|
| 10 | Основы надежности микро- и нанoeлектронной компонентной базы для космических информационных систем. | 1 | | | 1 |
| 11 | Основы теории решения изобретательских задач. | 1 | 1 | | 2 |
| 12 | Структура и типовой состав прикладных НИР и ОКР. | 1 | 1 | | 1 |
| Итого часов | | 15 | 15 | | 15 |
| Подготовка к экзамену | | 0 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 45 час., 1 зач.ед. | | | |

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Предмет специальности «Микроэлектронные устройства космических информационных систем».

Предмет специальности «Микроэлектронные устройства космических информационных систем». Основные понятия, определения. Физические принципы и ограничения функционирования типовых устройств в микро- и наноисполнении (частотные, мощностные ограничения, проблема локальных теплоотводов). Основные типы и компоненты устройств микро- и нанoeлектроники, микро- и наносистемной техники и нанофотоники, наноматериалы.

2. Активные элементы, интегральные схемы, исполнительные элементы микромеханических устройств и сенсоров в микроисполнении.

Активные элементы, интегральные схемы, исполнительные элементы микромеханических устройств и сенсоров в микроисполнении. Основные конструкционные особенности микроэлектронных устройств для космических информационных систем. Аналоговые и цифровые ИС, СБИС, СВЧ микроминиатюрные устройства.

3. Устройства функциональной электроники.

Устройства функциональной электроники. Сенсоры и актюаторы в микроминиатюрном исполнении. Гибридные интегральные микросхемы и микросборки. СВЧ микроминиатюрные устройства. Наноразмерные компоненты.

4. Современные методы моделирования и проектирования.

Современные методы моделирования и проектирования. Программные продукты. Библиотеки элементов. Конструкторская документация.

5. Физико-технологические основы микроэлектронной технологии для космического приборостроения.

Физико-технологические основы микроэлектронной технологии для космического приборостроения. Литографические и нелитографические процессы получения топологического рисунка, вакуумные и плазменные процессы, растворные технологии, «сухие» процессы. Технологическое обеспечение.

6. Основы технологии.

Основы технологии СБИС, дискретных полупроводниковых приборов, микроэлектронных устройств функциональной электроники, микросборок и устройств СВЧ в микроминиатюрном исполнении, устройств микросистемной техники.

7. Физико-химические основы нанотехнологий.

Физико-химические основы нанотехнологий. Новые перспективные материалы и устройства в микро- и наноисполнении, наноматериалы и нанотехнология в космическом приборостроении. Перспективы развития нанокомпонентной базы для космического приборостроения.

8. Методы контроля микро- и нанoeлектронных устройств для космических информационных систем.

Методы контроля микро- и нанoeлектронных устройств для космических информационных систем: исследования поверхности, состава и структуры. Микроскопия: оптическая, электронная, атомно-силовая, ИК-спектроскопия.

9. Методы испытаний микроэлектронных устройств для космического приборостроения.

Методы испытаний микроэлектронных устройств для космического приборостроения. Методы ускоренных испытаний (термоциклирование, радиационной стойкости).

10. Основы надежности микро- и нанoeлектронной компонентной базы для космических информационных систем.

Основы надежности микро- и нанoeлектронной компонентной базы для космических информационных систем. Проблемы деградации и катастрофических отказов. Резервирование с использованием электронной компонентной базы.

11. Основы теории решения изобретательских задач.

Основы теории решения изобретательских задач применительно к созданию микро- и нанoeлектронной компонентной базы космического приборостроения.

12. Структура и типовой состав прикладных НИР и ОКР.

Структура и типовой состав прикладных НИР и ОКР по направлению создания микро- и нанoeлектронной компонентной базы для космического приборостроения (по стандартам РФ и ИСО).

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для практических занятий: учебная аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Нанoeлектроника [Текст] / А. А. Щука; под общ. ред. А. С. Сигова - МЮрайт, 2017

1. Нанoeлектроника [Текст] / А. А. Щука; под общ. ред. А. С. Сигова – М.: Юрайт, 2017. – 297 с.
2. ВЧ МЭМС и их применение. В. Варадан, К. Виной, К. Джозе. – М.: Техносфера, 2004. – 526 с.
3. Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Харрис П. – М.: Техносфера, 2003. – 336 с.
4. Система кремний– диоксид кремния субмикронных СБИС. Красников Г. Я., Зайцев Н. А. – М.: Техносфера, 2003. – 384 с.
5. Нанoeлектроника. Щука А. А. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.
6. Нано- и микросистемная техника. Под ред. П. А. Мальцева. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
7. Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА. Епифанов Г. И., Мома Ю. А. – М.: Сов. радио, 1979. – 352 с.
8. Конструкции и технология микросхем. Матсон Э. А. – Минск: Высшая школа, 1985. – 207 с., ил.
9. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. Готра З. Ю. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.
10. Основы технологии СБИС. Таруи Я. – М., Радио и связь, 1985. – 480 с.
11. Микролитография в 2-х ч. Ч. 1: Моро У. Пер. с англ. Под ред. Тимерова Р. Х. Т. 1. – М.: Мир, 1990. – 602 с.
12. Введение в фотолитографию. Боков Ю. С., Корсаков В. С., Лаврищев В. П., Лубашевская А. В., Мишачев В. И. Под ред. В. П. Лаврищева. – М.: Энергия, 1977. – 400 с.
13. Принципы функционирования, типовые конструкции исполнительных элементов и устройства микросистемной техники. Дидык П.И., Жуков А.А. Москва.: КУРС, 2020.- 96 с.
14. Средства создания устройств микросистемной техники: материалы, технологии, деградационные процессы, основные производители и тенденции развития. Дидык П.И., Жуков А.А. Москва.: КУРС, 2020. – 112 с.

Дополнительная литература

1. Микролитография [Текст] : в 2-х ч. Ч. 1, принципы, методы, материалы/У. Моро , Microdevices, пер. с англ. Р. Х. Тимерова , -М., Мир, 1990
2. Микролитография [Текст] : в 2-х ч. Ч. 2, принципы, методы, материалы/У. Моро, пер. с англ. Д. Ю. Зарослова, К. Я. Мокроусова, В. А. Никитаева , -М., Мир, 1990
1. Микролитография [Текст] : в 2-х ч. Ч. 1-2, принципы, методы, материалы/У. Моро, пер. с англ. Д. Ю. Зарослова, К. Я. Мокроусова, В. А. Никитаева , -М., Мир, 1990. – 605 с.+ 632 с.
2. Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных интегральных микросхемах. Воженин И. Н., Блинов Г. А., Коледов Л. А., Коробов А. И., Оборотов А. Ф. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
3. Гибридные интегральные функциональные устройства. Под ред. Л. А. Коледова. Блинов Г. А. – М.: Высшая школа, 1987. – 111 с.
4. Основы расчета и проектирования устройств микросистемной техники: учебное пособие. Дидык П.И., Жуков А.А., Ануров А.Е. М.: Издательство МАИ. 2020. – 72 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Windows 2000+, Microsoft Office PowerPoint 2007 +

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса «Микроэлектронные устройства космических информационных систем» требует большой самостоятельной работы студента, требует от студента осознания связей между теорией и практикой, а также взаимозависимостей разных дисциплин. В программе дисциплины приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Космические технологии
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
кафедра космического приборостроения
курс: 1
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: А.А. Жуков, д-р техн. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи | УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива |
| | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Микроэлектронные устройства космических информационных систем» обучающийся должен:

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук;
- принципы функционирования, типы и методы получения микроэлектронной компонентной базы;

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- использовать нанотехнологии и компоненты устройств для космических систем связи, навигации и дистанционного зондирования Земли.

владеть:

- научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме устных опросов и собеседований.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Контрольные вопросы для сдачи дифференцированного зачета в 9 семестре:

1. Основные термины, определения, аббревиатуры микроэлектроники.
2. Литография. Шелкография.
3. Технология изготовления микроэлектронных устройств.
4. Устройства МСТ и НСТ. Актюатор.
5. Акселерометры в микроэлектронном исполнении. Физические ограничения.
6. Датчик давления в микроэлектронном исполнении. Основные этапы изготовления.
7. Микроболометры. Характеристики. Конструктивные особенности.
8. Процессы фотолитографии.
9. Вакуумные процессы в технологии микроэлектронных устройств.
10. «Сухие» адгезивы для космических применений.
11. Принцип действия устройств, отклоняющих луч лазера. Эффект Керра. «Цифровое» микрозеркало. Акустооптический эффект.
12. Приемные устройства терагерцового диапазона.
13. Технологии получения тонких пленок.
14. Особенности космической микроэлектроники.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

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

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета при подготовке ответов на билеты обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций и любой другой литературой.

Во время проведения дифференцированного зачета при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины он не может пользоваться конспектами лекций и любой другой литературой.