МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет**

**им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

Кафедра физики полупроводников, электроники и наноэлектроники

Утверждено

решением ученого совета ННГУ

(протокол от 16.06.2021 г. №8)

**Рабочая программа дисциплины**

|  |
| --- |
| **Конструирование микро- и наносистем** |

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность (профиль): материалы микро- и наносистемной техники

Форма обучения: очная

Нижний Новгород, 2021

Набор 2021 года**Лист актуализации**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2019 г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2019-2020 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_ | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2020-2021 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_ | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_ | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
|  | | | |
|  |  |  |
| **Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году** | | | |
|  |  |  |
| Председатель МК | |  | |
| \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. | | | |
|  |  |  |
| Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры | | | |
| **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | |
|  |  |  |
|  | Протокол от \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. № \_\_  Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_ | | |

**1. Место и цели дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Конструирования микро- и наносистем» относится к обязательным дисциплинам формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». Для усвоения данного курса необходимо изучить такие модули (дисциплины) в рамках образовательной программы бакалавра как «Общая физика», «Физика конденсированного состояния», «Физико-химические основы технологии формирования микро- и наноструктур», «Материалы и методы нанотехнологий», «Твердотельная электроника».

Цель освоения дисциплины «Конструирования микро- и наносистем»:

* формирование у студентов понимания основных принципов и подходов, применяемых при конструировании микро- и наносистем;
* формирование представлений об основных этапах конструирования микро- и наносистем.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Конструирования микро- и наносистем», необходимы для профессионального становления в будущей профессии.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Формируемые компетенции**  (код, содержание компетенции) | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции** | | **Наименование оценочного средства** |
| **Индикатор достижения компетенции**  (код, содержание индикатора) | **Результаты обучения**  **по дисциплине** |  |
| ПК 2. Способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий | ПК-2.1. Знание основ физико-математического моделирования.  ПК-2.2. Умение строить физические и математические модели исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники  ПК-2.3. Навыки использования cтандартных программных средств компьютерного моделирования | **Знать** основные принципы и подходы для конструирования микро- и наносистем  **Уметь** применять известные явления и эффекты в различных материалах для конструирования микро- и наносистем;  **Владеть** навыками выбора материалов для конструирования микро- и наосистем | Вопросы по темам/разделам дисциплины.  Комплект заданий для конструирования.  Фонд тестовых заданий |

**3.1 Трудоемкость дисциплины**

|  |  |
| --- | --- |
| Общая трудоемкость | 2 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе |  |
| аудиторные занятия (контактная работа):  - занятия лекционного типа  - занятия семинарского типа  - контроль самостоятельной работы | 26  26  1 |
| самостоятельная работа | 19 (работа в семестре) |
| Промежуточная аттестация | 8 семестр – зачет |

**3.2.** **Содержание дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Раздел Дисциплины** | **Семестр** | **Всего (часы)** | **в том числе** | | | | |
| **контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы,** из них | | | | **Самостоятельная работа обучающегося, часы** |
| **Занятия лекционного типа** | **Занятия семинарского типа** | **Занятия лабораторного типа** | **Всего** |
| 1 | Введение. Классификация электронных микро- и наносистем. Пассивные и активные элементы. Основные материалы для создания электронных микро-и наносистем | 8 | 9 | 4 |  |  | 4 | 5 |
| 2 | Гибридные микросхемы. Основные методы конструирования пассивных и активных элементов и блоков. | 8 | 31 | 8 | 8 |  | 16 | 15 |
| 3 | Конструирование микросхем на полевых транзисторах. Особенности конструирования КМОП-микросхем | 8 | 29 | 6 | 8 |  | 14 | 15 |
| 4 | Конструирование микросхем на биполярных транзисторах. | 8 | 31 | 6 | 10 |  | 16 | 15 |
| 5 | Основные подходы и принципы конструирования электронных устройств с нанометровыми проектными нормами. | 8 | 7 | 2 |  |  | 2 | 5 |
|  | Промежуточная аттестация - зачет 1 час | | | | | | | | |

**Содержание разделов дисциплины**

1. Введение. Классификация электронных микро- и наносистем. Пассивные и активные элементы. Маркировка микросхем. Основные этапы конструирования. Конструкторская документация. Требования ГОСТов и ОСТов, понятие о техническом задании. Основные материалы для создания электронных микро-и наносистем.
2. Гибридные микросхемы. Основные методы конструирования пассивных и активных элементов и блоков. Материалы для плат и подложек. Материалы для резисторов. Методы расчета пленочных резисторов. Материалы для пленочных конденсаторов. Методы расчета пленочных конденсаторов. Расчет индуктивностей. Контактные площадки и токоведущие дорожки. Принципы компоновки элементов на плате гибридной микросхемы.
3. Конструирование микросхем на полевых транзисторах. Конструирование транзисторных ключей на однотипных ПТ. Особенности конструирования КМОП-микросхем. Паразитные эффекты в микросхемах на ПТ.
4. Конструирование микросхем на биполярных транзисторах. Особенности интегральных биполярных транзисторов. Расчет топологии БТ. Конструирование пассивных элементов в микросхемах на БТ.
5. Основные подходы и принципы конструирования электронных устройств с нанометровыми проектными нормами. FIN-FET-транзисторы. Биполярные СВЧ-транзисторы.

**4. Образовательные технологии**

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме, в форме практических занятий, а также в форме самостоятельной работы студентов. На лекциях студенты знакомятся с основными этапами конструирования, требованиями ГОСТов и ОСТов к процессу конструирования и конструкторской документации, знакомятся с основными методами и подходами при конструировании. На практических занятиях они приобретают навыки конструирования конкретных элементов, микроблоков для микросхем, учатся рассчитывать топологию элементов, приобретают навыки компоновки элементов на плате микросхемы.

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов включает в себя активное изучение лекционного материала вместе с выполнением конструкторских заданий при использовании соответствующих разделов учебных пособий.

Для прохождения аттестации по предмету проводится зачет, включающий в себя защиту отчетов по индивидуальным конструкторским заданиям и собеседование.

При подготовке к зачету по предмету используются следующие контрольные вопросы:

При подготовке к собеседованию по предмету используются следующие контрольные вопросы:

1. Основные типы электронных микросхем.
2. Классификация и маркировка микросхем. Гибридные микросхемы: основные этапы конструирования.
3. Принципы конструирования пленочных резисторов.
4. Принципы конструирования пленочных конденсаторов и индуктивностей.
5. Монолитные полупроводниковые микросхемы: основные этапы конструирования.
6. Интегральный биполярный транзистор: конструктивные и технологические особенности
7. Аналоговые и логические микросхемы на биполярных транзисторах.
8. Микросхемы на полевых транзисторах: особенности конструирования.
9. Микросхемы КМОП.
10. Основные подходы для конструирования интегральных полевых транзисторов.
11. Микросхемы на КНС- и КНИ-структурах.
12. 3d-транзисторы.
13. Особенности микросхем на GaAs.
14. Конструктивные особенности микросхем ВЧ- и СВЧ-диапазона.

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**

6.1 Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых учувствует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)** | **Шкала оценивания сформированности компетенций** | | | | | | |
| **плохо** | **неудовлетворительно** | **удовлетворительно** | **хорошо** | **очень хорошо** | **отлично** | **превосходно** |
| Не зачтено | | зачтено | | | | |
| Знания | Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| Умения | Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки. | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения,решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном  объеме без недочетов |
| Навыки | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки. | Имеется минимальный  набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. | Продемонстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

6.2. Описание шкал оценивания

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета (6 семестр), на котором определяются:

* уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
* уровень понимания студентами изученного материала;
* способности студентов использовать полученные знания для выполнения конкретных заданий.

**Критерии выставления оценки при сдаче зачета:**

|  |  |
| --- | --- |
| Зачтено | Студент отвечает полностью на вопросы, показывая удовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности. |
| Не зачтено | Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. |

**6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций**

**Для оценивания результатов обучения в виде *знаний,* *умений* и *владений* используются следующие процедуры и технологии:**

- для оценивания результатов обучения в виде ***знаний*** используется фронтальный опрос на занятиях;

- для оценивания результатов обучения в виде ***умений*** используются задания на конструирование элементов и микроблоков микросхем, включающих несколько вопросов в виде краткой формулировки действий (комплекса действий) для проведения необходимых операций и количественных оценок, которые следует выполнить, или описание результата, который можно считать достоверным.

- для оценивания результатов обучения в виде ***владений*** используются комплексные задания, требующие поэтапного решения в типичной ситуации и развернутого ответа.

**Типовые вопросы для фронтальных опросов:**

1. Какие материалы применяются в качестве подложек для ГИС?
2. Расшифровать маркировку микросхемы.
3. Какие основные «паразитные» элементы могут возникать полупроводниковых ИС?

**Типовые задачи и задания:**

1. Рассчитать топологию и сконструировать гибридную микросхему.



1. Рассчитать физическую структуру интегрального планарного биполярного n-p-n-транзистора.

Рабочие параметры транзистора:

1. Предельное напряжение коллектор-эмиттер Vкэ=+15 В;
2. Предельный ток коллектора Iк =5мА;
3. Предельная частота генерации fген ≥10 МГц;
4. Последовательное сопротивление коллектора rк’≤ 1 КОм;
5. Последовательное сопротивление базы rб’≤ 200Ом;
6. Статический коэффициент усиления тока базы в схеме ОЭ β≥80.

Исходная пластина кремния:

;

подвижность дырок μp=450 см2/Вс;

подвижность электронов μp=1300 см2/Вс;

время жизни неравновесных носителей τ=10-5с.

Технологические возможности:

1. Диффузия бора, фосфора на глубины до 15 мкм;
2. Ионная имплантация бора, фосфора с энергиями 40-100 КэВ;
3. Термическое окислениекремния с толщинами SiO2до 0,5 мкм;
4. Фотолитография с минимальным размером 2,5 ±0,1 мкм.
5. Рассчитать физическую структуру планарного полевого транзистора на МОП-структуре cиндуцированным n-каналом (МОП-структуру считать идеальной)

Рабочие параметры транзистора:

1. Предельное напряжение исток-сток Vис=+10 В;
2. Предельный ток стока Iс =5мА;
3. Предельная частота f≥1 МГц;
4. Предельное напряжение затвор-сток Vзи=15 В;
5. Пороговое напряжение Vзи=+1,5 В;
6. Крутизна S≥5мА/В при Vзи=+5 В;

Исходная пластинакремния:

подвижность дырок μp=450 см2/Вс;

подвижность электронов μp=1300 см2/Вс;

время жизни неравновесных носителей τ=10-5с.

Технологические возможности:

1. Диффузия бора, фосфора на глубины до 15 мкм;
2. Ионная имплантация бора, фосфора с энергиями 40-100 КэВ;
3. Термическое окислениекремния с толщинами SiO2до 0,5 мкм;
4. Фотолитография с минимальным размером 2,5 ±0,1 мкм.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Ефремова Н.Ф. Подходы к оцениванию компетенций в высшем образовании. Учеб. пособие. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов. 2010. 216 с.
2. Положение о фонде оценочных средств, утверждённое приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 г. № 247-ОД.
3. Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского [Электронный ресурс]: http://www.qa.unn.ru/files/quality/procedure/polozhenie-21-05-08.pdf.

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Ионно-лучевые методы формирования микро- и наноструктур»**

а) основная литература:

1. Торгонский Л.А. Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров: Учебное пособие. В 3-х разделах. — Томск: ТУСУР. 2011. (http://kibevs.tusur.ru/sites/default/files/upload/manuals/torgonskiy\_pims/uchebnoeposobie\_r1\_1.pdf)
2. Шелохвостов,В.П. Проектирование интегральных микросхем: учеб. пособие/В.П.Шелохвостов, В.Н.Чернышов. – 2-е изд., стер. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. (http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2008/cheloh\_t.pdf)
3. Кротова, Елена Ивановна. Основы конструирования и технологии производства РЭС: учебное пособие /Е.И.Кротова; Яросл. гос. ун-т им.П.Г.Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. (http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20130708.pdf)

б) дополнительная литература:

1. Н.А.Аваев, Ю.Е.Наумов, В.Т.Фролкин. Основы микроэлектроники. – М.:Радио и связь, 1991.
2. И.Е.Ефимов, И.Я.Козырь, Ю.И.Горбунов. Микроэлектроника. – М.: Лань, 2008.
3. В.А.Гуртов. Твердотельная электроника. -М.: Техносфера, 2005 (интернет-версия: http://dssp.petrsu.ru/book/main.shtml)/
4. В.В.Пасынков, Л.К.Чиркин, А.Д.Шинков. Полупроводниковые приборы. - М.: ВШ, 1987; М.: изд. «Лань», 2001; М.: ВШ, 2003.
5. И.М.Викулин, В.И.Стафеев. Физика полупроводниковых приборов.- М.: Сов. Радио, 1980, 1990.
6. В.И.Гаман. Физика полупроводниковых приборов. – Томск: изд. НТЛ, 2000.
7. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984, т.1, 2.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Научная электронная библиотека (электронная библиотека периодических изданий - доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.
2. Электронная база данных по свойствам полупроводниковых материалов: http://www.matprop.ru.
3. Электронная база данных по физическим, химическим и структурным свойствам веществ и соединений (доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): http://www.springermaterials.com.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины «Конструирования микро- и наносистем» обусловлено наличием необходимого количества учебников в библиотеке и на сайте ННГУ в электронном виде.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками, ноутбуком и проектором для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника".

Автор:

к.ф.-м. н., доцент кафедры физики полупроводников,

электроники и наноэлектроники \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.В.Карзанов

Рецензент:

заведующий кафедрой

теоретической физики, д.ф.-м.н. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой

физики полупроводников, электроники

и наноэлектроники д.ф.-м.н. профессор \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «12» апреля 2021 г.

Председатель Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.А. Перов