

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 нанoeлектроники

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Конструирование микро- и наносистем**

---

Уровень высшего образования  
бакалавриат

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
Направленность (профиль): твердотельная электроника и нанoeлектроника

Квалификация (степень): бакалавр  
Форма обучения: очная

Нижегород, 2023

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Конструирования микро- и наносистем» относится к дисциплинам по выбору части образовательной программы по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», формируемой участниками образовательных отношений. Для усвоения данного курса необходимо изучить такие модули (дисциплины) в рамках образовательной программы бакалавра как «Общая физика» базовой части цикла математических и естественно-научных дисциплин, «Физика конденсированного состояния», «Физико-химические основы технологии формирования микро- и наноструктур», «Материалы и методы нанотехнологий», «Твердотельная электроника» базовой части профессионального цикла.

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<br>(код, содержание компетенции)  | Планируемые результаты обучения по дисциплине<br>(модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции |   | Наименование оценочного средства      |
|---|--|---|---------------------------------------|
|   | Индикатор достижения компетенции<br>(код, содержание индикатора)   | Результаты обучения по дисциплине   |                                       |
| ПК-2. Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования | ПК-2.1 Знает основные принципы и подходы для конструирования микро- и наносистем                               | <b>Знать</b> основные принципы и подходы для конструирования микро- и наносистем  | Вопросы по темам/разделам дисциплины. |
|   | ПК-2.2 Умеет применять алгоритмы и методы для конструирования микро- и наносистем                              | <b>Уметь</b> применять алгоритмы и методы для конструирования микро- и наносистем | Комплект заданий для конструирования. |
|   | ПК-2.3 Имеет опыт конструирования простейших микро- и наносистем   | <b>Владеть</b> навыками конструирования простейших микро- и наносистем            | Фонд тестовых заданий                 |

### 3. Структура и содержание дисциплины «Конструирования микро- и наносистем»

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

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

#### 3.2. Содержание дисциплины

| №<br>п/п | Раздел Дисциплины  | С<br>е<br>м<br>е<br>с<br>т<br>р | Всего (часы) | в том числе   |                           |                            |       | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|----------|--|---------------------------------|--------------|---|---------------------------|----------------------------|-------|---|
|          |  |                                 |              | контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них |                           |                            |       |   |
|          |  |                                 |              | 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                               | 12           | 4   | 4                         |                            | 8     | 4   |
| 2        | Гибридные микросхемы. Основные методы конструирования пассивных и активных элементов и блоков.   | 8                               | 20           | 8   | 8                         |                            | 16    | 4   |
| 3        | Конструирование микросхем на полевых транзисторах.   | 8                               | 16           | 6   | 6                         |                            | 12    | 4   |

|   |   |   |    |   |   |  |    |   |
|---|---|---|----|---|---|--|----|---|
|   | Особенности конструирования КМОП-микросхем  |   |    |   |   |  |    |   |
| 4 | Конструирование микросхем на биполярных транзисторах.   | 8 | 16 | 6 | 6 |  | 12 | 4 |
| 5 | Основные подходы и принципы конструирования электронных устройств с нанометровыми проектными нормами. | 8 | 7  | 2 | 2 |  | 4  | 3 |
|   | 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:

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 участвует 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   |   |  |   |  |
| <u>Знания</u>  | Отсутствие знаний теоретического материала.<br><br>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 ошибок.   | 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.   |
| <u>Умения</u>  | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа                     | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.<br><br>Имели место грубые ошибки. | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и несущественным недочетом, выполнены все задания в полном объеме. | Продemonстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u>  | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие   | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.                                    | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с   | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым   | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без  | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок  | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач  |

|  |                               |                            |                       |              |                     |              |  |
|--|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|---------------------|--------------|--|
|  | отказа обучающегося от ответа | Имели место грубые ошибки. | некоторыми недочетами | и недочетами | ошибок и недочетов. | и недочетов. |  |
|--|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|---------------------|--------------|--|

## 6.2. Описание шкал оценивания

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета (8 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. Усилительный каскад для ГИС.

Напряжение питания  $V_{\pi}=+10\text{ В}$

Предельная частота  $f=100\text{ КГц}$

Транзистор КТ206А

$R_1=90\text{ КОм}$

$R_2=10\text{ КОм}$

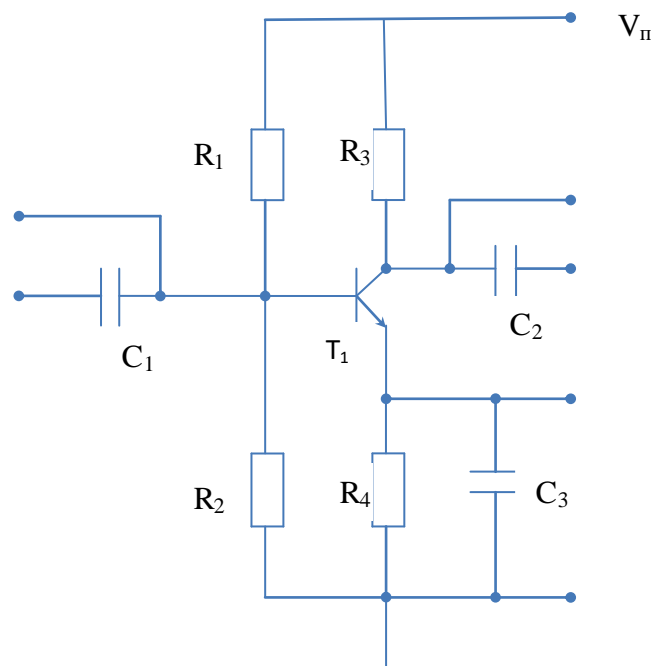
$R_3=1,5\text{ КОм}$

$R_4=500\text{ Ом}$

$C_1=10\text{ нФ}$

$C_2=10\text{ нФ}$

$C_3=500\text{ нФ}$



**2. Рассчитать физическую структуру интегрального планарного биполярного *n-p-n*-транзистора.**

Рабочие параметры транзистора:



- 1) Предельное напряжение коллектор-эмиттер  $V_{кэ}=+15$  В;
- 2) Предельный ток коллектора  $I_k=5$  мА;
- 3) Предельная частота генерации  $f_{ген} \geq 10$  МГц;
- 4) Последовательное сопротивление коллектора  $r_k' \leq 1$  КОм;
- 5) Последовательное сопротивление базы  $r_b' \leq 200$  Ом;
- 6) Статический коэффициент усиления тока базы в схеме ОЭ  $\beta \geq 80$ .

Исходная пластина кремния:

$$100 \frac{12 \text{ КЭФ } 1,0}{250 \text{ КДБ } 12} ;$$

подвижность дырок  $\mu_p=450$  см<sup>2</sup>/Вс;  
 подвижность электронов  $\mu_n=1300$  см<sup>2</sup>/Вс;  
 время жизни неравновесных носителей  $\tau=10^{-5}$ с.

Технологические возможности:

- 1) Диффузия бора, фосфора на глубины до 15 мкм;
- 2) Ионная имплантация бора, фосфора с энергиями 40-100 КэВ;
- 3) Термическое окисление кремния с толщинами SiO<sub>2</sub> до 0,5 мкм;
- 4) Фотолитография с минимальным размером  $2,5 \pm 0,1$  мкм.

### ***3. Рассчитать физическую структуру планарного полевого транзистора на МОП-структуре индуцированным n-каналом (МОП-структуру считать идеальной).***

Рабочие параметры транзистора:

- 1) Предельное напряжение исток-сток  $V_{ис}=+10$  В;
- 2) Предельный ток стока  $I_c=5$  мА;
- 3) Предельная частота  $f \geq 1$  МГц;
- 4) Предельное напряжение затвор-сток  $V_{зи}=15$  В;
- 5) Пороговое напряжение  $V_{зи}=+1,5$  В;
- 6) Крутизна  $S \geq 5$  мА/В при  $V_{зи}=+5$  В;

Исходная пластина кремния:

$$100 \frac{3 \text{ КДБ } 5,0}{250 \text{ КЭФ } 20}$$

подвижность дырок  $\mu_p=450$  см<sup>2</sup>/Вс;  
 подвижность электронов  $\mu_n=1300$  см<sup>2</sup>/Вс;  
 время жизни неравновесных носителей  $\tau=10^{-5}$ с.

#### Технологические возможности:

- 1) Диффузия бора, фосфора на глубины до 15 мкм;
- 2) Ионная имплантация бора, фосфора с энергиями 40-100 КэВ;
- 3) Термическое окисление кремния с толщинами  $\text{SiO}_2$  до 0,5 мкм;
- 4) Фотолитография с минимальным размером  $2,5 \pm 0,1$  мкм.

#### **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](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](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.uniyl.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.petrstu.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 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника».

Автор:

к.ф.-м. н., доцент кафедры физики полупроводников,  
электроники и микроэлектроники

В.В. Карзанов

Рецензент:

заведующий кафедрой  
теоретической физики, д.ф.-м.н.

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой  
физики полупроводников, электроники  
и микроэлектроники д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ

А.А. Перов