

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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



**УТВЕРЖДАЮ**

Декан факультета радиотехники и электроники  
Небольсин В.А.

«29» июня 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины**

«Разработка и производство интегральных микросхем памяти»

**Направление подготовки** 11.03.03 Конструирование и технология  
электронных средств

**Профиль** Проектирование и технология радиоэлектронных средств

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 11 м.

**Форма обучения** очная / заочная

**Год начала подготовки** 2018

Автор программы

/Пирогов А.А./

Заведующий кафедрой  
Конструирования и  
производства  
радиоаппаратуры

/Муратов А.В./

Руководитель ОПОП

/Муратов А.В./

Воронеж 2018

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

приобретение теоретических знаний в области проектирования и технологии 2.5D интегральных микросхем NAND памяти.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

- Ознакомление с приемами работы на технологическом оборудовании сборки и корпусирования 2.5D интегральных схем NAND памяти, требованиями к материально-техническому обеспечению технологического участка корпусирования микросхем 2.5D интеграции;
- Ознакомление с архитектурами микросхем 2.5D и 3D интеграции;
- Приобретение навыков разработки пооперационного маршрута изготовления 2.5D интегральных схем NAND памяти

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Разработка и производство интегральных микросхем памяти» относится к дисциплинам факультативов.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Разработка и производство интегральных микросхем памяти» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - Способен выполнять проектирование радиоэлектронных устройств в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования

| <b>Компетенция</b> | <b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>                                                   |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-3               | Знать архитектуру микросхем 2.5D и 3D интеграции, механизм чтения, записи и стирания матрицы ячеек архитектуры NAND памяти |
|                    | Уметь определять порядок, и вид технологических операций изготовления 2.5D интегральных схем                               |
|                    | Владеть навыками разработки пооперационного маршрута изготовления 2.5D интегральных схем NAND памяти                       |

## **4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ**

Общая трудоемкость дисциплины «Разработка и производство интегральных микросхем памяти» составляет 2 з.е.

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

| Виды учебной работы                   | Всего часов | Семестры  |
|---------------------------------------|-------------|-----------|
|                                       |             | 6         |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>     | <b>36</b>   | <b>36</b> |
| В том числе:                          |             |           |
| Лекции                                | 18          | 18        |
| Практические работы                   | 18          | 18        |
| <b>Самостоятельная работа</b>         | <b>36</b>   | <b>36</b> |
| Виды промежуточной аттестации - зачет | +           | +         |
| Общая трудоемкость:                   |             |           |
| академические часы                    | 72          | 72        |
| зач.ед.                               | 2           | 2         |

**заочная форма обучения**

| Виды учебной работы                   | Всего часов | Семестры  |
|---------------------------------------|-------------|-----------|
|                                       |             | 6         |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>     | <b>4</b>    | <b>4</b>  |
| В том числе:                          |             |           |
| Лекции                                | 2           | 2         |
| Практические работы                   | 2           | 2         |
| <b>Самостоятельная работа</b>         | <b>64</b>   | <b>64</b> |
| Часы на контроль                      | 4           | 4         |
| Виды промежуточной аттестации - зачет | +           | +         |
| Общая трудоемкость:                   |             |           |
| академические часы                    | 72          | 72        |
| зач.ед.                               | 2           | 2         |

## 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            | Технологии 2.5D и 3D корпусирования интегральных схем | 1. Анализ конструктивных особенностей 3D ИС<br>2. Технология формирования перемычек через кремний<br>3. Технология утонения кремниевых пластин и планаризации структуры<br>4. Технология флип-чип монтажа<br>5. Технология проволочного монтажа<br>6. Технология соединения кремниевых пластин/ кристаллов<br>7. Технология корпусирования многовыводных микромодулей<br>8. Оптимизация технологических процессов статистическими методами<br>9. Управление качеством продукции | 18        | 18         | 36        | 72         |
| <b>Итого</b> |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>18</b> | <b>18</b>  | <b>36</b> | <b>72</b>  |

## заочная форма обучения

| № п/п        | Наименование темы                                     | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Лекц     | Прак. зан. | СРС       | Всего, час |
|--------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|-----------|------------|
| 1            | Технологии 2.5D и 3D корпусирования интегральных схем | особенностей 3D ИС<br>2. Технология формирования перемычек через кремний<br>3. Технология утонения кремниевых пластин и планаризации структуры<br>4. Технология флип-чип монтажа<br>5. Технология проволочного монтажа<br>6. Технология соединения кремниевых пластин/ кристаллов<br>7. Технология корпусирования многовыводных микромодулей<br>8. Оптимизация технологических процессов статистическими методами<br>9. Управление качеством продукции | 4        | 4          | 64        | 72         |
| <b>Итого</b> |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>4</b> | <b>4</b>   | <b>64</b> | <b>72</b>  |

### 5.2 Перечень лабораторных работ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение лабораторных работ.

## 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-3        | Знать архитектуру микросхем 2.5D и 3D интеграции, механизм чтения, записи и стирания матрицы ячеек архитектуры NAND памяти | Активная работа на практических занятиях, ответ не менее чем на половину заданных в процессе опроса вопросов | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | Уметь определять порядок, и вид технологических операций изготовления 2.5D интегральных схем                               | Решение не менее половины стандартных практических задач                                                     | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | Владеть навыками                                                                                                           | Решение не менее половины                                                                                    | Выполнение работ в                                            | Невыполнение                                                    |

|  |                                                                                     |                                                  |                                            |                                                    |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|  | разработки пооперационного маршрута изготовления 2.5D интегральных схем NAND памяти | прикладных задач в конкретной предметной области | срок, предусмотренный в рабочих программах | работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения, 6 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«зачтено»

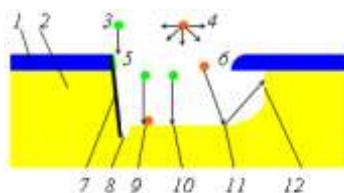
«не зачтено»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                          | Критерии оценивания                                      | Зачтено                                                  | Не зачтено           |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------|
| ПК-3        | Знать архитектуру микросхем 2.5D и 3D интеграции, механизм чтения, записи и стирания матрицы ячеек архитектуры NAND памяти | Тест                                                     | Выполнение теста на 70-100%                              | Выполнение менее 70% |
|             | Уметь определять порядок, и вид технологических операций изготовления 2.5D интегральных схем                               | Решение стандартных практических задач                   | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены     |
|             | Владеть навыками разработки пооперационного маршрута изготовления 2.5D интегральных схем NAND памяти                       | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены     |

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые 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

На рисунке приведена схема процесса плазменного травления (3 — ион, 4 — радикал).



1. Какие процессы указаны на рисунке?
  - a. Перенос реагента, десорбция продуктов, перенос продуктов.
  - b. Адсорбция реагента, реакция на поверхности, перенос продуктов.
  - c. Перенос реагента; адсорбция реагента; реакция на поверхности; десорбция продуктов; перенос продуктов.

2. Какие механизмы травления можно реализовать, варьируя рабочее давление?

3. Какую форму канавок даёт каждая из модификаций процесса травления?

4. Что такое анизотропность травления?

5. Какие методы обеспечения высокой анизотропии травления, используемые технологии 3D сборки, Вы знаете? Опишите их.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Туннелирование Фаулера-Нордгейма - это физический феномен, используемый для выполнения электрического стирания ...

1. В памяти NOR

2. В памяти NAND \*

3. В памяти NOR и NAND

2. От чего зависит минимальное время  $T_{VAL}$  необходимое разрядной шине для разрядки?

1. Это время зависит от значения ёмкости разрядной шины, минимального тока ячейки и разницы между  $V_1$  и  $V_2$  \*

2. Это время не зависит от значения ёмкости разрядной шины, но зависит от минимального тока ячейки и разницы между  $V_1$  и  $V_2$

3. Это время зависит от значения ёмкости разрядной шины, но не зависит от минимального тока ячейки и разницы между  $V_1$  и  $V_2$

3. В отличие от NOR памяти, ток, который должен быть обнаружен в NAND структурах, очень...

1. Высок

2. Низок \*

3. Нестабилен

4. Выберите фазы входящие в алгоритм стирания NAND памяти?

1. Предварительная подготовка

2. Импульс стирания \*

3. Стирающий импульс и проверка стирания

4. Самозапись и проверка

5. "Косвенная" проверка, что полученного запаса достаточно \*

5. На какой срок службы рассчитаны устройства флэш-памяти?

1. 50 000 циклов записи/стирания

2. 100 000 циклов записи/стирания \*

3. 500 000 циклов записи/стирания

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Boot-блоки хранят программы инициализации системы, ...

1. Позволяющие ускорить завершение работы системы

2. Позволяющие ввести ее в рабочее состояние после включения питания \*

3. Которые отвечают за скорость приёма пакетных данных

2. Основой структуры флэш-памяти является...

1. Разветвитель

2. Устройство питания

3. Накопитель \*
4. Контроллер
3. В ячейке И-НЕ транзисторы соединены последовательно и для формирования высокого уровня выходного напряжения достаточно наличия в цепочке транзисторов хотя бы ...
  1. Одного запертого \*
  2. Одного открытого
  3. Двух запертых
  4. Двух открытых
4. В 1997 г. компания Intel представила новый вид флэш-памяти (StrataFlash), в которой в одном запоминающем элементе стали храниться не один, а
  1. Два бита \*
  2. Четыре бита
  3. Восемь бит
5. Дополните утверждение «Для хранения программ применяются структуры с ... блоками, для создания аналогов жестких дисков — с ... блоками»
  1. симметричными... несимметричными...
  2. несимметричными... симметричными... \*

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

1. Из какого материала(ов) выполняется ловушка заряда в 3D NAND памяти?
2. Как решаются проблемы разводки, ограничивающие производительность ИС?
3. Какая из концепций интеграции носит название «Вертикально углубленная транзисторная матрица»?
4. В чем преимущество архитектуры памяти P-BiCS по сравнению с BiCS?
5. Этапы изготовления BiCS 3D NAND Flash.
6. В чем преимущество 3D интеграции по сравнению с 2D интеграцией?
7. Как называются подвижные носители заряда в полупроводнике или металле, энергетическое распределение, которых смещено относительно равновесного при данной температуре в сторону больших энергий?
8. Какие технологии наиболее широко используются для создания перемычек через кремний?
9. В чем разница между 2.5D и 3D интеграцией?
10. В чем отличие криопроцесса от Bosch-процесса?

#### **7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

Не предусмотрено учебным планом

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

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 20 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 8 баллов.

2. Оценка «зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 9 до 20 баллов

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины              | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1     | Технологии 2.5D и 3D корпусирования интегральных схем | ПК-2                           | Тест                             |

### **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.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

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

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

1. Handbook of 3D Integration. N.-Y.: Willey-VCH, 2008. 798 p.
2. Handbook of 3D Integration: Technology and Applications of 3D Integrated Circuits / Ed. P. Garrou, C. Bower, P. Ramm. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
3. Handbook of 3D Integration: Volume 1 – Technology and Applications of 3D Integrated Circuits. Wiley-VCH, 2011.

**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:**

1. <http://www.edu.ru/>
2. Образовательный портал ВГТУ
3. <http://window.edu.ru>
4. <https://wiki.cchgeu.ru/>

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

Учебная аудитория укомплектованное специализированной мебелью, оборудованное техническими средствами обучения: персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

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

По дисциплине «Разработка и производство интегральных микросхем памяти» читаются лекции, проводятся лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

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

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекция              | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Лабораторная работа                   | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.                                                                                                                                                |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul> |
| 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, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |