

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

И.А. Чистоедова  
И.Ф. Гарипов

## **ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ**

Методические указания по выполнению курсового проекта  
для студентов технических вузов

Томск  
2026

УДК 621.382-022.532(075.8)  
ББК 32.844я73  
Ч - 683

**Рецензент:**

**Санько С.А.**, начальник отдела АО «НИИПП», г. Томск

**Чистоедова, Инна Анатольевна**

Ч-683 Процессы микро- и нанотехнологии. Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов технических вузов / И.А. Чистоедова, И.Ф. Гарипов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2026. – 21 с.

Приведены методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» для студентов технических вузов. Методические указания представляют собой рекомендации о порядке выполнения курсового проекта и о содержании отдельных разделов пояснительной записки.

Авторами данных методических указаний являются доцент кафедры физической электроники Чистоедова И.А., а также сотрудник профильного предприятия, инженер-технолог технического отдела АО «НИИПП» (г. Томск), Гарипов И.Ф.

Методические указания актуализированы в рамках проекта "Развитие механизмов опережающей подготовки инженерных кадров для ракетно-космической отрасли".

Одобрено на заседании кафедры физической электроники протокол №178 от 23.04.2026 года

УДК 621.382-022.532(075.8)  
ББК 32.844я73

© Чистоедова И.А., Гарипов И.Ф., 2026  
© Томск. гос. ун-т систем упр. и  
радиоэлектроники, 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Введение                                                                      | 4  |
| 2. Тематика курсовых проектов                                                    | 4  |
| 3. Общие требования                                                              | 4  |
| 4. Требования к оформлению ТД                                                    | 5  |
| 4.1. Требования к тексту ТД                                                      | 5  |
| 4.2. Деление текста ТД                                                           | 6  |
| 4.3. Таблицы                                                                     | 7  |
| 4.4. Иллюстрации                                                                 | 7  |
| 4.5. Формулы                                                                     | 7  |
| 4.6. Ссылки                                                                      | 8  |
| 4.7. Сокращения                                                                  | 8  |
| 4.8. Оформление расчетов                                                         | 9  |
| 4.9. Нумерация текстов                                                           | 9  |
| 4.10 Оформление проектных документов                                             | 9  |
| Список рекомендуемой литературы                                                  | 10 |
| Приложение А (обязательное). Варианты заданий на курсовые проекты                | 11 |
| Приложение Б (обязательное). Пример оформления титульного листа                  | 16 |
| Приложение В (справочное). Пример оформления оглавления                          | 17 |
| Приложение Г (справочное). Пример маршрутной карты на изделие ЭТ                 | 18 |
| Приложение Д (справочное). Пример операционной карты универсальной на изделие ЭТ | 20 |

## **1 ВВЕДЕНИЕ**

Данное методическое пособие предназначено для студентов технических вузов при работе над курсовым проектом по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии». В пособии даны рекомендации о порядке выполнения курсового проекта и о содержании отдельных разделов пояснительной записки. Пособие содержит пояснения к расчетам и список рекомендованной литературы. В приложении приведены варианты заданий курсовых проектов.

## **2 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ**

Задания на курсовой проект предусматривают разработку технологии изготовления полупроводниковых ИМС и технологии структур нанoeлектроники. Предметом курсовых проектов являются выбор и обоснование методов изготовления ИМС или структур нанoeлектроники, расчет технологических режимов, технологических погрешностей и др. Варианты заданий на курсовой проект приведены в приложении А.

## **3 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Курсовой проект в общем случае должен содержать:

- текстовый документ (ТД);
- графический материал.

Разделы текстового документа должны быть размещены в следующей последовательности:

- титульный лист;
- задание;
- оглавление;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложение.

Текстовый документ в краткой четкой форме должен представить решение проблемы, которая содержится в задании, анализ результатов расчета и выводы по работе. Текст может сопровождаться иллюстрациями (графиками, диаграммами, схемами и т.д.).

Пример оформления титульного листа приведен в приложении Б.

В разделе «Введение» указывают основную цель работы, область применения разрабатываемой проблемы, ее научное и техническое значение.

Выполнение основной части курсового проекта начинается с анализа задания и конструкторской документации, которая может содержать топологический чертеж и структуру элементов, а также их характеристики. В результате проведения анализа устанавливается, какие элементы входят в данную схему, по какой технологии они выполняются, какие связи устанавливаются между элементами. Определяется метод изоляции элементов и необходимое число изолированных областей.

На основе анализа характеристик элементов и анализа рекомендованной литературы следует выбрать методы получения элементов схемы и их рисунка путем сравнения с другими возможными методами. После обоснования выбора методов получения элементов ИМС и их рисунка разрабатывается последовательность операций технологического процесса, технологический маршрут, схема которых представляется в приложении.

При описании основных технологических приемов излагаются те конкретные технологические приемы, расчет которых будет произведен по заданию, остальные же

описываются кратко. При описании следует указывать назначение приема, его суть, технологические режимы в данной конкретной технологии, а также оборудование, используемое для производства и контроля.

При выполнении расчетной части проекта приводятся расчетные формулы и вводятся исходные данные. Результаты расчетов обрабатываются, приводятся соответствующие графические зависимости или таблицы, производится анализ, и даются рекомендации технологических режимов, пригодных для практической реализации при изготовлении данной схемы или структуры.

В разделе «Заключение» дается краткая характеристика выполненной работы, формулируются общие выводы.

В список использованных источников включаются все источники, на которые имеются ссылки в текстовом документе. Источники в списке нумеруются в порядке их упоминания в тексте.

Выполненный курсовой проект оформляется в виде пояснительной записки объемом 20 – 25 страниц с приложением, в котором расположены схема последовательности технологических операций, расчетные зависимости, чертежи технологического оборудования (фотошаблонов, схемы установок). При оформлении необходимо соблюдать требования и правила, оговоренные в стандарте вуза ОС ТУСУР 01-2021 по оформлению курсовых и дипломных проектов. Примеры оформления элементов пояснительной записки приведены в приложениях В, Г, Д.

Защита курсовых проектов проводится в форме собеседования и включает пятиминутный доклад и ответы на вопросы. Доклад должен отражать: тему проекта, цель и назначение разработки, основные этапы техпроцесса, результаты расчета, выводы и рекомендации по результатам курсового проекта. Доклад ведется, как правило, в безличной форме (например: «... в результате расчета получено, что время первой стадии диффузии и т.д.»), обращаясь по мере необходимости к материалам пояснительной записки.

## **4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТД**

### **4.1 Требования к тексту ТД**

#### **4.1.1 В ТД не допускается:**

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- применять произвольные словообразования;
- применять индексы стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р, ОСТ и т.п.) технических условий (ТУ) и других документов без регистрационного номера;
- использовать в тексте математические знаки и знак  $\varnothing$  (диаметр), а также знаки № (номер) и % (процент) без числовых значений.

Следует писать: «температура минус 20 °С»; «значение параметра больше или равно 35» (но не «температура -20 °С» или «значение параметра  $\geq 35$ »); «стержень диаметром 25 мм» (но не «стержень  $\varnothing 25$  мм»); «изделие № 325», «номер опыта» (но не «№ опыта»); «влажность 98 %», «процент выхода» (но не «% выхода»).

4.1.2 Условные буквенные обозначения, изображения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах.

В тексте ТД перед обозначением параметра дают его наименование, например: «температура окружающей среды  $T$ »).

4.1.3 В ТД следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417.

## 4.2 Деление текста ТД

4.2.1 Текст ТД разделяют на разделы, подразделы, пункты.

4.2.2 Разделы должны иметь порядковые номера в пределах ТД, обозначенные арабскими цифрами и записанные с абзацного отступа. Подразделы и пункты должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела или подраздела. Отдельные разделы могут не иметь подразделов и состоят непосредственно из пунктов.

Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, этот пункт также нумеруется.

Точка в конце номеров разделов, подразделов, пунктов не ставится. Подразделы нумеруются в пределах раздела (пункта) и их номер должен состоять из номера раздела (пункта) и номера подраздела, разделенных точкой.

### Пример

**Введение** (без номера)

**1 ТИПЫ И РАЗМЕРЫ** (Номер и заголовок первого раздела)

**1.1 Классификация типов** (Номер единственного пункта первого раздела)

**2 МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ** (Номер и заголовок второго раздела)

**2.1 Материалы и реактивы** (Номер и заголовок первого подраздела второго раздела)

**2.1.1** }

**2.1.2** } Нумерация пунктов первого подраздела второго раздела

**2.1.3** }

**3 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ** (Номер и заголовок третьего раздела)

..... и т.д.

4.2.3 Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления.

Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис или, при необходимости ссылки в тексте ТД на одно из перечислений, строчную букву, после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа, как показано в примере.

**Пример:**

1. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_:  
а) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_;  
б) \_\_\_\_\_:  
- \_\_\_\_\_;  
- \_\_\_\_\_;  
- \_\_\_\_\_.

4.2.4 Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа.

## 4.3 Таблицы

4.3.1 Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей.

4.3.2 Графу «№ п/п/ (номер по порядку)» в таблицу включать не допускается.

4.3.3 Все таблицы нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Над левым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица» с указанием номера таблицы, на пример: «Таблица 2.1» (первая таблица второго раздела).

4.3.4 Если таблица имеет название, то его помещают после номера таблицы через тире, с прописной буквы.

4.3.5 На все таблицы должны быть ссылки в тексте ТД.

4.3.6 Таблицу следует располагать в ТД непосредственно после абзаца, где она упоминается впервые, или на следующем листе (странице).

## 4.4 Иллюстрации

4.4.1 Иллюстрации помещаются в ТД для пояснения текста и должны быть выполнены в соответствии с требованиями государственных стандартов.

4.4.2 В тексте ТД все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуются рисунками.

Рисунки нумеруются в пределах раздела (приложения) арабскими цифрами, например: «рисунок 1.2» (второй рисунок первого раздела); «рисунок В.3» (третий рисунок приложения В).

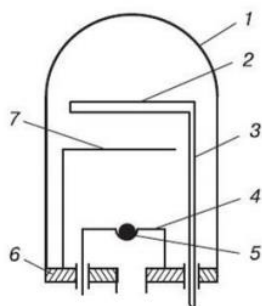
4.4.3 Иллюстрации при необходимости могут иметь на именование и пояснительные данные (подрисуночный текст).

Слово «рисунок», его номер и наименование помещают ниже изображения и пояснительных данных симметрично иллюстрации, например: «Рисунок 1.3»; «Рисунок В.2 – Схема алгоритма».

4.4.4 На все иллюстрации должны быть ссылки в тексте ТД.

4.4.5 Иллюстрации должны размещаться сразу после ссылки или на следующем листе (странице).

**Пример:**



1 – колпак вакуумной камеры; 2 – подложка; 3 – держатель подложки;  
4 – испаритель; 5 – испаряемое вещество; 6 – опорная плита; 7 – заслонка  
Рисунок 3.2 – Схема установки для вакуумного напыления

## 4.5 Формулы

4.5.1 Формулы следует выделять из текста в отдельную строку и оформляются в редакторе формул.

4.5.2 Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой

строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова "где" без двоеточия после него.

**Пример:**

Плотность в килограммах на кубический метр вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (5.1)$$

где  $m$  – масса образца, кг;

$V$  – объем образца, м<sup>3</sup>.

4.5.3 Формулы, следующие одна за другой, и не разделенные текстом, отделяют запятой.

4.5.4 Формулы должны нумероваться в пределах раздела (приложения) арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например: «(1.2)». Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

**Примеры:**

$$R = \frac{U}{I} \text{ или } R = U/I \quad (5.2)$$

$$P = U \cdot I. \quad (5.3)$$

## 4.6 Ссылки

4.6.1 В ТД приводят ссылки:

- на данную работу;
- на использованные источники.

При ссылках на структурные части ТД указывают номера разделов (со словом «раздел»), приложений (со словом «приложение»), подразделов, пунктов, перечислений, например: «... в соответствии с разделом 2», «... согласно 3.1», «... по 3.1.1»; «... в соответствии с 4.2.2, перечисление б»; (приложение В); «... как указано в приложении Г».

Ссылки в тексте на номер формулы дают в скобках, например: «... согласно формуле (8.1)»; «... как следует из выражения (2.5)».

Ссылки в тексте на таблицы и иллюстрации оформляют по типу: (таблица 4.3); «... в таблице 1.1, графа 4»; (рисунок (2.11)); «... в соответствии с рисунком 1.2»; «... как показано на рисунке Г.7, поз.12 и 13».

4.6.2 При ссылке в тексте на использованные источники следует приводить порядковые номера по списку использованных источников, заключенные в квадратные скобки, например: «... как указано в монографии [10]»; «... в работах [11, 12, 15-17]».

При необходимости в дополнение к номеру источника указывают номер его раздела, подраздела, страницы, иллюстрации, таблицы, например: [12, раздел 2]; [18, подраздел 1.3, приложение А], [19, с.35, табл.8.3].

## 4.7 Сокращения

4.7.1 При многократном упоминании устойчивых словосочетаний в тексте ТД следует использовать аббревиатуры или сокращения.

4.7.2 При первом упоминании должно быть приведено полное название с указанием в скобках сокращенного названия или аббревиатуры, например: «фильтр нижних частот

(ФНЧ)»; «амплитудная модуляция (АМ)», а при последующих упоминаниях следует употреблять сокращенное название или аббревиатуру.

Расшифровку аббревиатур и сокращений, установленных государственными стандартами (ГОСТ 2.316, ГОСТ Р 7.0.12) и правилами русской орфографии, допускается не приводить, например: ЭВМ, НИИ, АСУ, с. (страница), т.е. (то есть) и др.

## 4.8 Оформление расчетов

4.8.1 Порядок изложения расчетов в ТД определяется характером рассчитываемых величин.

4.8.2 Все расчеты, как правило, должны выполняться в СИ.

4.8.3 Запись числовых расчетов выполняют, как правило, в следующем порядке:

- формула;
- знак «=» (равно);
- подстановка числовых значений величин и коэффициентов (как правило, в основных единицах СИ) в последовательности буквенных обозначений в формуле и, через пробел - обозначение единицы физической величины результата;
- знак «=» (равно);
- результат с единицей физической величины.

### Пример:

Запись пункта расчета:

3.4.3 Сопротивление рассчитываем по формуле [2, таблица 3.1, строка 3]:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{125}{16 \cdot 10^{-3}} \text{ Ом} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 7,8 \text{ кОм} \quad (3.5)$$

## 4.9 Нумерация листов ТД

4.9.1 Все листы ТД, включая приложения, должны иметь сквозную нумерацию.

Первым листом является титульный лист. На титульном листе номер не проставляется.

4.9.2 Страницы работы следует нумеровать арабскими цифрами. Номер страницы проставляется в центре нижнего поля листа (страницы) без точки.

## 4.10 Оформление проектных документов

4.10.1 КП и ДП должны включать в себя проектные документы (конструкторские, технологические, программные и т.п.), разработанные согласно заданию (ТЗ) и оформленные согласно требованиям соответствующих стандартов (ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД и др.).

4.10.2 Проектные документы следует оформлять в виде приложений. Проектные документы следует распечатывать на стандартных листах белой бумаги и помещать в работе после озаглавленных приложений. Выполненный проектный документ большого формата рекомендуется уменьшать при распечатке до формата А4, пропорционально изменяя все его элементы, а если это затрудняет чтение документа – выполнять его без уменьшения и складывать «гармоникой» на формат А4 по ГОСТ 2.501.

### Список рекомендуемой литературы

1. Процессы микро- и нанотехнологии : учеб. пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.]. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2005. – 316 с.
2. Ефимов И. Е. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов. – М. : Высшая школа, 1986. – 464 с.
3. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств. Справочник / З. Ю. Готра. – М. : Радио и связь, 1991. – 528 с.
4. Электроника : Учебное пособие для вузов / А. А. Щука ; ред. : А. С. Сигов. - СПб. : БХВ-Петербург, 2005. - 799[1] с.
5. Технология кремниевой микроэлектроники : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с.
6. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. / Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М. А. Королев [и др.]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 423 с.
7. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. / Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 397 с.
8. Справочное пособие по конструированию микросхем : справочное издание / Э. А. Матсон, Д. М. Крыжановский. - Минск : Высшэйшая школа, 1982. - 224 с.
9. Гарипов И. Ф. Конструкторско-технологическое обеспечение производства изделий микроэлектроники и микросистемной техники: учеб. пособие / И. Ф. Гарипов, Ю. С. Жидик. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 148 с.

## Приложение А (обязательное)

### Варианты заданий на курсовые проекты

#### Вариант 1

**Тема проекта:**

Технология изготовления интегральной микросхемы ЭСЛ.

**Исходные данные:**

1. Схема изготовлена по эпитаксиально-планарной технологии.

2. Подложка  $75 \frac{5KЭФ0,5/3KЭС8}{200KДБ10}$ .

3. Характеристики диффузионных областей:

база:  $\rho_{Sб} = 200 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{бк} = 2 \text{ мкм}$ ;

эмиттер:  $\rho_{Sэ} = 5 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{эб} = 1,5 \text{ мкм}$ ;

характеристики скрытого слоя из маркировки подложки.

4. Топологический чертеж и структура элементов прилагаются.

**Содержание:**

1. Анализ схемы.

2. Технологический маршрут.

3. Технология изготовления элементов схемы.

4. Расчет режимов эпитаксии и диффузии.

5. Расчет профилей распределения примесей с учетом автолегирования.

6. Расчет точности изготовления резисторов схемы.

7. Разработать маршрутную карту на сборку микросхемы (сборочные операции) согласно требованиям операционного описания маршрута по ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Схема последовательности формирования ИМС.

2. Расчетные зависимости.

3. Чертежи комплекта фотошаблонов.

#### Вариант 2

**Тема проекта:**

Технология изготовления схемы интегрального усилителя.

**Исходные данные:**

1. Схема изготовлена по эпитаксиально-планарной технологии.

2. Подложка  $110 \frac{5KЭФ0,5/4KЭМ15}{200KДБ10}$ .

3. Характеристики диффузионных областей:

база:  $\rho_{Sб} = 180 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{бк} = 2,0 \text{ мкм}$ ;

эмиттер:  $\rho_{Sэ} = 6 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{эб} = 1,2 \text{ мкм}$ ;

скрытый слой – из маркировки подложки.

4. Топологический чертеж и структура элементов прилагаются.

**Содержание:**

1. Анализ схемы.

2. Технологический маршрут.

3. Технология изготовления элементов схемы.

4. Расчет режимов эпитаксии и диффузии.

5. Расчет профилей распределения примесей с учетом автолегирования.

6. Расчет точности изготовления резисторов схемы.
7. Разработать операционную карту на одну из операций разработанной маршрутной карты согласно требованиям ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Схема последовательности формирования ИМС.
2. Расчетные зависимости.
3. Чертежи комплекта фотошаблонов.

### Вариант 3

**Тема проекта:**

Технология изготовления схемы ТС – 14.

**Исходные данные:**

1. Биполярная схема с диэлектрической изоляцией.
2. Подложка КЭФ-0,1.
3. Характеристики диффузионных областей:  
база:  $\rho_{Sб} = 180 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{бк} = 1,4 \text{ мкм}$ ;  
эмиттер:  $\rho_{Sэ} = 5 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{эб} = 0,7 \text{ мкм}$ .
4. Топологический чертеж и структура элементов прилагаются.

**Содержание:**

1. Анализ схемы.
2. Технологический маршрут.
3. Технология изготовления элементов схемы.
4. Расчет режимов диффузии и окисления.
5. Расчет профилей распределения примесей до и после окисления.
6. Расчет точности изготовления резисторов схемы.
7. Разработать маршрутную карту на сборку микросхемы (сборочные операции) согласно требованиям операционного описания маршрута по ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Схема последовательности формирования ИМС.
2. Расчетные зависимости.
3. Чертежи комплекта фотошаблонов.

### Вариант 4

**Тема проекта:**

Фоточувствительные приборы с зарядовой связью на МДП ИС.

**Исходные данные:**

1. МДП ИС.
2. Подложка КДБ-200.
3. Концентрация легированных областей:  
сток – каналы  $N_p = 9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ;  
истоки – стоки  $N_{n+} = 1,6 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ;  
объемный канал  $N_n = 1,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

4. Дополнительная литература:

1. Барба Д.Ф. Приборы с зарядовой связью. – М., Мир, 1982 – 240 с.
2. Воронов и др. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью – современная элементная база фотонных систем. Электронная промышленность, 2003, №2.

**Содержание:**

1. Анализ приборов с зарядовой связью и технологические особенности их изготовления.

2. Технологический маршрут.
3. Технология изготовления приборов.
4. Расчет режимов легирования и окисления.
5. Расчет профилей распределения примесей.
6. Разработать операционную карту на одну из операций разработанной маршрутной карты согласно требованиям ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Схема последовательности формирования приборов.
2. Расчетные зависимости.

### Вариант 5

**Тема проекта:**

Технология изготовления ИС на совмещенных МОП – транзисторах.

**Исходные данные:**

1. МОП – транзистор – вертикальный.

2. Размеры транзистора:

толщина столбика 0,1 мкм;

ширина столбика 0,02-2 мкм;

Высота столбика 0,05÷0,5 мкм.

3. Концентрация областей:

исток – сток n – типа  $N_n = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ;

исток – сток p – типа  $N_p = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ;

основание транзистора p – типа  $N = 10^{13} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

4. Дополнительная литература:

1. Ракитин В.В. Совмещенные МОП – транзисторы. Электронная промышленность. 2004, №3.

2. Ракитин В.В., Филиппов Е.И. Моделирование элементов СБИС на совмещенных вертикальных МОП – транзисторах. Микроэлектроника, 1997, т.26, №4.

**Содержание:**

1. Анализ СМОП приборов, их сравнение с планарными аналогами и технологические особенности.
2. Технологический маршрут.
3. Технология изготовления приборов.
4. Расчет режимов легирования, окисления и металлизации.
5. Расчет профилей распределения примесей.
6. Разработать операционную карту на одну из операций разработанной маршрутной карты согласно требованиям ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Технологический маршрут (последовательность изготовления приборов).
2. Расчетные зависимости.

### Вариант 6

**Тема проекта:**

Технология изготовления схемы интегральной микросхемы ТТЛ.

**Исходные данные:**

1. Схема изготовлена по изопланарной технологии.

2. Подложка 110  $\frac{3KЭФ0,5/5KЭС10}{300KДБ15}$ .

3. Характеристики диффузионных областей:

база:  $\rho_{сб} = 180 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{ок} = 1,8 \text{ мкм}$ ;

эмиттер:  $\rho_{S_3} = 5 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{\text{эб}} = 0,8 \text{ мкм}$ ;

скрытый слой – из маркировки подложки.

4. Топологический чертеж и структура элементов прилагаются.

**Содержание:**

1. Анализ схемы.
2. Технологический маршрут.
3. Технология изготовления элементов схемы.
4. Расчет режимов диффузии и окисления.
5. Расчет профилей распределения примесей до и после окисления.
6. Расчет точности изготовления резисторов схемы.
7. Разработать маршрутную карту на сборку микросхемы (сборочные операции)

согласно требованиям операционного описания маршрута по ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Схема последовательности формирования ИМС.
2. Расчетные зависимости.
3. Чертежи комплекта фотошаблонов.

### Вариант 7

**Тема проекта:**

Технология изготовления интегральной микросхемы типа УТ-221.

**Исходные данные:**

1. Схема изготовлена по полипланарной технологии.

2. Подложка  $75 \frac{5KЭФ0,1/3KЭМ8}{200KДБ15}$ .

3. Характеристики диффузионных областей:

база:  $\rho_{S_6} = 200 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{\text{ок}} = 2,6 \text{ мкм}$ ;

эмиттер:  $\rho_{S_3} = 6 \text{ Ом}/\square$ ;  $x_{\text{эб}} = 1,2 \text{ мкм}$ ;

скрытый слой – из маркировки подложки.

4. Топологический чертеж и структура элементов прилагаются.

**Содержание:**

1. Анализ схемы.
2. Технологический маршрут.
3. Технология изготовления элементов схемы.
4. Расчет режимов диффузии и окисления.
5. Расчет профилей распределения примесей до и после окисления.
6. Расчет точности изготовления резисторов схемы.
7. Разработать операционную карту на одну из операций разработанной маршрутной

карты согласно требованиям ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Схема последовательности формирования ИМС.
2. Расчетные зависимости.
3. Чертежи комплекта фотошаблонов.

### Вариант 8

**Тема проекта:**

Технология изготовления КМДП ИС типа ИЛИ – НЕ.

**Исходные данные:**

1. Схема изготовлена по комплементарной технологии.
2. Подложка КЭФ-1.
3. Характеристики легированных областей:

изолирующая область:  $\rho_{Si3} = 600 \text{ Ом/}\square$ ;  $x_{pn} = 3 \text{ мкм}$ ;

исток – сток п – типа:  $\rho_s = 10 \text{ Ом/}\square$ ;  $x_{pn} = 1,0 \text{ мкм}$ ;

исток – сток р – типа  $\rho_s = 40 \text{ Ом/}\square$ ;  $x_{pn} = 1,5 \text{ мкм}$ ;

основание транзистора р – типа  $N = 10^{13} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

**Содержание:**

1. Анализ схемы.
2. Технологический маршрут.
3. Технология изготовления элементов схемы.
4. Расчет режимов формирования легированных областей диффузией.
5. Расчет режимов ионного легирования, используемого для самосовмещения затвора с каналом.
6. Расчет профилей распределения примесей.
7. Расчет точности изготовления легированных областей.
8. Разработать маршрутную карту на сборку микросхемы (сборочные операции) согласно требованиям операционного описания маршрута по ЕСТД.

**Перечень графического материала:**

1. Схема последовательности формирования ИМС.
2. Расчетные зависимости.
3. Чертеж структуры элементов схемы.

**Приложение Б**  
(обязательное)

**Пример оформления титульного листа**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ 1УТ221**

Курсовой проект по дисциплине  
«Процессы микро- и нанотехнологии»

ИРЭТ.КП.431121.003.ПЗ

Студент гр. 312-1

\_\_\_\_\_ А.В. Иванов  
(подпись)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(дата)

Руководитель:

\_\_\_\_\_  
(должность, ученая степень, звание)

\_\_\_\_\_ (оценка) \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(дата)

Томск 20\_\_

**Приложение В**  
(справочное)

**Пример оформления оглавления**

**Оглавление**

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                 | 6  |
| 1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УСИЛИТЕЛЯ.....                                                                              | 7  |
| 2 РАСЧЕТЫ ИЗДЕЛИЯ.....                                                                                                        | 12 |
| 2.1 Электрический расчет схемы изделия.....                                                                                   | 12 |
| 2.2 Расчет надежности изделия.....                                                                                            | 17 |
| 3 ОЖИДАЕМЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.....                                                                             | 23 |
| Заключение.....                                                                                                               | 28 |
| Список использованных источников.....                                                                                         | 29 |
| Приложение А (обязательное) Методика расчета надежности.....                                                                  | 30 |
| Приложение Б (справочное) Программа расчета надежности усилителя..                                                            | 32 |
| Приложение В (справочное) Результаты, подтверждающие<br>достоверность расчетов согласно методики и программы<br>расчетов..... | 34 |

**Приложение Г**  
(справочное)

**Пример маршрутной карты на изделие ЭТ**

|             |                           |                                                                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------|
|             |                           |                                                                 |                                                                |                                        |                       | 2                         | 1       |
| АО "Первый" |                           |                                                                 |                                                                |                                        |                       | 1234567.<br>1028800.00817 |         |
| тыс.шт.     | Держатель АБВГ.301171.034 |                                                                 |                                                                |                                        |                       |                           | А       |
| В           | Цех                       | Уч.                                                             | РМ                                                             | Номер                                  | Наименование операции |                           |         |
| Г           | Обозначение документа     |                                                                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Д           | % исп.                    | Наименование оборудования                                       |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Е           | Профессия                 |                                                                 |                                                                |                                        |                       | Разряд                    | Доплата |
| Л           | Код ОКП                   | Наименование детали, сбор. единицы или материала                |                                                                |                                        | ГОСТ/ТУ/МК            |                           |         |
| Н           |                           |                                                                 |                                                                |                                        |                       | Ед.изм                    | К исп.  |
| Н           |                           |                                                                 |                                                                |                                        |                       | Норма расх.               |         |
| Ж           | 1                         | Держатель АБВГ.301171.034                                       |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Ж           | 2                         | Держатель АБВГ.301171.034-01                                    |                                                                |                                        |                       |                           |         |
|             | 3                         | ----- 100 -----                                                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
|             | 4                         | Цех 1                                                           | 100                                                            | Вплавление изолятора в корпус          |                       |                           |         |
| В           | 5                         | 7606104.6028000.01554                                           |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Г           | 6                         | 100                                                             | Электрошкаф сушильный СНОЛ-3,5х3,5х3,5/3,5 ОСТ 16.0.801.397-87 |                                        |                       |                           |         |
| Д/О         | 7                         | 100                                                             | Стол монтажный СЖ4.099.003                                     |                                        |                       |                           |         |
| Д/О         | 8                         | Сборщик изделий электронной техники                             |                                                                |                                        |                       | 3                         | 4%      |
| Е           | 9                         | 7606104.1024100.00810 Корпус АБВГ.713312.095-01                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Л/О         | 10                        |                                                                 |                                                                |                                        | шт                    | 0,00                      | 1000    |
| Н           | 11                        | 7606104.1024100.00809 Корпус АБВГ.713312.095                    |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Л/О         | 12                        |                                                                 |                                                                |                                        | шт                    | 0,00                      | 1000    |
| Н           | 13                        | Изолятор ИС-1-1,7-0,45-16,4 Н ЮКЛЯ.680222.005 ТУ                |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Л/З         | 14                        |                                                                 |                                                                |                                        | шт                    | 0,00                      | 1000    |
| Н           | 15                        | Паста припойная Авангард ППК-62-4-89А ТУ 1723-001-07518266-2009 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Л/О         | 16                        |                                                                 |                                                                |                                        | г                     | 0,00                      | 1,2     |
| Н           | 17                        | Спирт этиловый технический высший сорт ГОСТ Р 55878-2013        |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Л/О         | 18                        |                                                                 |                                                                |                                        | л                     | 0,00                      | 0,02    |
| Н           | 19                        | Мадаполам отбеленный ГОСТ 29298-2005                            |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Л/О         | 20                        |                                                                 |                                                                |                                        | м                     | 0,00                      | 0,01    |
| Н           | 21                        | 844181                                                          | Перчатки вязанные х/б одинарные ГОСТ 12.4.252-2013             |                                        |                       |                           |         |
| Л/О         | 22                        |                                                                 |                                                                |                                        | н/н                   | 0,00                      | 0,00000 |
| Н           | 23                        | ----- 200 -----                                                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Ж           | 24                        |                                                                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Ж           | 25                        | НПК СД                                                          | 200                                                            | Измерение сопротивления изоляции между |                       |                           |         |
| Ж           | 26                        | корпусом и изолятором                                           |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Ж           | 27                        | 7606104.6020300.01558                                           |                                                                |                                        |                       |                           |         |
| Ж           | 28                        | 100                                                             | Мегомметр Е6-24                                                |                                        |                       |                           |         |
| Ж           | 29                        | 100                                                             | Стол монтажный СМ-3/А2М2.339.001                               |                                        |                       |                           |         |
| Ж           | 30                        | Испытатель деталей и приборов                                   |                                                                |                                        |                       | 3                         | -       |
| Ж           | 31                        | Мадаполам отбеленный ГОСТ 29298-2005                            |                                                                |                                        |                       |                           |         |
|             | 32                        |                                                                 |                                                                |                                        | м                     | 0,00                      | 0,01    |
|             | 33                        |                                                                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |
|             |                           |                                                                 |                                                                |                                        | Разработал            | Кузнецов                  |         |
|             |                           |                                                                 |                                                                |                                        | Проверил              | Михайлова                 |         |
|             |                           |                                                                 |                                                                |                                        | Утверждаю             | Столяров                  |         |
|             |                           |                                                                 |                                                                |                                        | Н. контрол.           | Иванова                   |         |
| МК          | Маршрутная карта          |                                                                 |                                                                |                                        |                       |                           |         |

|             |                       |                                                   |    |       |                       |                           |
|-------------|-----------------------|---------------------------------------------------|----|-------|-----------------------|---------------------------|
|             |                       |                                                   |    |       |                       | 2                         |
| АО "Первый" |                       |                                                   |    |       |                       | 1234567.<br>1028800.00817 |
| В           | Цех                   | Уч.                                               | РМ | Номер | Наименование операции |                           |
| Г           | Обозначение документа |                                                   |    |       |                       |                           |
| Д           | % исп.                | Наименование оборудования                         |    |       |                       |                           |
| Е           | Профессия             |                                                   |    |       | Разряд                | Долплата                  |
| Л           | Код ОКП               | Наименование детали, сбор. единицы или материала  |    |       | ГОСТ/ТУ/МК            |                           |
| Н           |                       |                                                   |    |       | Ед.изм                | К.исп.                    |
| Н           |                       |                                                   |    |       | Норма расх.           |                           |
| Д/О         | 1                     |                                                   |    |       |                       |                           |
| Д/О         | 2                     | ----- 300 -----                                   |    |       |                       |                           |
| Е           | 3                     |                                                   |    |       |                       |                           |
| Л/О         | 4                     | НПК СД 300 Защита изоляторов                      |    |       |                       |                           |
| Н           | 5                     | 7606104.6028800.01589                             |    |       |                       |                           |
|             | 6                     | 100 Стол монтажный СМ-4/А2М2.339.003              |    |       |                       |                           |
|             | 7                     | Заливщик компаундами 3 4%                         |    |       |                       |                           |
|             | 8                     | Клей К-300-61 ОСТ В 6-06-5100-96                  |    |       |                       |                           |
| В           | 9                     |                                                   |    |       |                       |                           |
| Г           | 10                    | Мадаполам отбеленный ГОСТ 29298-2005 кг 0,00 0,05 |    |       |                       |                           |
| Д/О         | 11                    | м 0,00 0,01                                       |    |       |                       |                           |
| Е           | 12                    |                                                   |    |       |                       |                           |
| Л/О         | 13                    |                                                   |    |       |                       |                           |
| Н           | 14                    |                                                   |    |       |                       |                           |
| Л/О         | 15                    |                                                   |    |       |                       |                           |
| МК          |                       | Маршрутная карта                                  |    |       |                       |                           |

**Приложение Д**  
(справочное)

**Пример операционной карты универсальной на изделие ЭТ**

|             |                                                      |                                                                                |             |                           |   |
|-------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------|---|
|             |                                                      | 1234567.<br>1000300.00100                                                      |             | 2                         | 1 |
| АО "Первый" |                                                      |                                                                                |             | 1234567.<br>6010600.00200 |   |
|             |                                                      |                                                                                |             |                           |   |
| В           | Наименование операции                                |                                                                                |             |                           |   |
| Г           | Обозначение документа                                |                                                                                |             |                           |   |
| Д           | Наименование оборудования                            |                                                                                |             |                           |   |
| Т           | Наименование технологической оснастки                |                                                                                |             |                           |   |
| Л           | Наименование детали, сборочной единицы или материала |                                                                                |             |                           |   |
| Е           | Профессия                                            |                                                                                |             | Разряд                    |   |
| О           | Содержание операции (перехода)                       |                                                                                |             |                           |   |
| В           | 1                                                    | Токовая тренировка (контрольный прогон)                                        |             |                           |   |
|             | 2                                                    |                                                                                |             |                           |   |
| Г           | 3                                                    | 1234567.0020300.00002                                                          |             |                           |   |
| Г           | 4                                                    | ИОТ1.045.015                                                                   |             |                           |   |
| Г           | 5                                                    | ИОТ1.045.042                                                                   |             |                           |   |
| Д           | 6                                                    | Источник питания постоянного тока Б5-70 ЕЭЗ.233.315 ТУ                         |             |                           |   |
| Т           | 7                                                    | Пинцет ПВАПТ 90.00.000                                                         |             |                           |   |
| Л           | 8                                                    | Мадаполам отбеленный ГОСТ 29298-2005                                           |             |                           |   |
| Л           | 9                                                    | Спирт этиловый технический высший сорт ГОСТ Р 55878-2013                       |             |                           |   |
| Л/З         | 10                                                   | Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья ГОСТ 5962-2013                |             |                           |   |
| Е           | 11                                                   | Испытатель деталей и приборов                                                  |             |                           | 3 |
| Ж           | 12                                                   | 1. Во время выполнения данной операции соблюдать требования правил             |             |                           |   |
| Ж           | 13                                                   | безопасности труда согласно ФЫО.045.015, ФЫО.045.042.                          |             |                           |   |
| Ж           | 14                                                   | 2. Соблюдать требования производственной гигиены согласно СТО                  |             |                           |   |
| Ж           | 15                                                   | 7606104.003.Класс чистоты 100000.                                              |             |                           |   |
| Ж           | 16                                                   | 3. Организация и подготовка рабочего места должна                              |             |                           |   |
| Ж           | 17                                                   | соответствовать 1234567.0020300.00002 КОТ                                      |             |                           |   |
| Ж           | 18                                                   | 4. Вместо источника постоянного тока Б5-70 разрешается использовать любой,     |             |                           |   |
| Ж           | 19                                                   | обеспечивающий требуемый диапазон токов и напряжений, а так же класс точности. |             |                           |   |
|             | 20                                                   | 1. Установить приборы в стенд токовой тренировки.                              |             |                           |   |
|             | 21                                                   | 2. Подсоединить к контактам стенда выводы источника питания (типа              |             |                           |   |
| О           | 22                                                   | «Крокодил»).                                                                   |             |                           |   |
| О           | 23                                                   | 3. Установить на источнике питания напряжение 16 В и ток 2.5 А.                |             |                           |   |
| О           | 24                                                   | 4. Выдержать приборы на этом режиме в течении 6 часов.                         |             |                           |   |
| О           | 25                                                   | В случае выхода одного или нескольких приборов из строя, остановить испытание  |             |                           |   |
| О           | 26                                                   | и сообщить технологу цеха.                                                     |             |                           |   |
| Ж           | 27                                                   | 5. Отключить источник питания.                                                 |             |                           |   |
| Ж           | 28                                                   | 6. Отсоединить выводы источника питания от стенда токовой тренировки.          |             |                           |   |
| Ж           | 29                                                   | 7. Изъять приборы из стенда.                                                   |             |                           |   |
| Ж           | 30                                                   | 8. Произвести контроль вольт-амперных характеристик приборов согласно ОКУ      |             |                           |   |
|             |                                                      |                                                                                | Разработал  | Иванов                    |   |
|             |                                                      |                                                                                | Проверил    | Петрова                   |   |
|             |                                                      |                                                                                | Утверждаю   | Козлов                    |   |
|             |                                                      |                                                                                | Н. контрол. | Сидорова                  |   |
| ОКУ         | Операционная карта универсальная                     |                                                                                |             |                           |   |

|             |                                |                                                                             |   |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---|
|             |                                | 7606104.<br>1000100.00100                                                   | 2 |
| АО "Первый" |                                | 7606104.<br>6010600.00200                                                   |   |
| О           | Содержание операции (перехода) |                                                                             |   |
| Ж           | 1                              | 1234567.6020200.00569.                                                      |   |
| Ж           | 2                              | 9. Забракованные приборы поместить в тару для брака.                        |   |
| Ж           | 3                              | 10. Заполнить сопроводительный лист и передать приборы вместе с ним мастеру |   |
| Ж           | 4                              | цеха.                                                                       |   |
| Ж           | 5                              | ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ                                                    |   |
| Ж           | 6                              | В процессе выполнения операции загрязнения окружающей среды не происходит.  |   |
| ОКУ         |                                | Операционная карта универсальная                                            |   |