

«Конструкторско- технологическое обеспечение производства» (КТОП)

для образовательной программы 09.03.01 «Информатика и
вычислительная техника»

Лекция 3

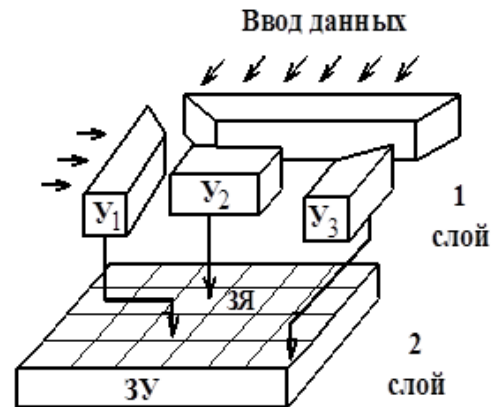
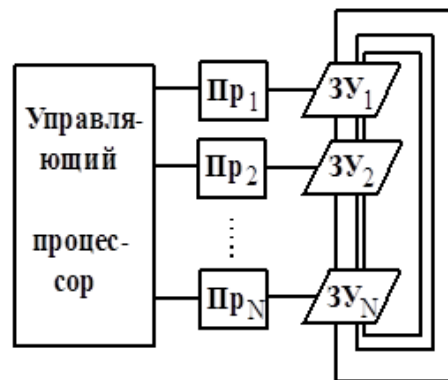
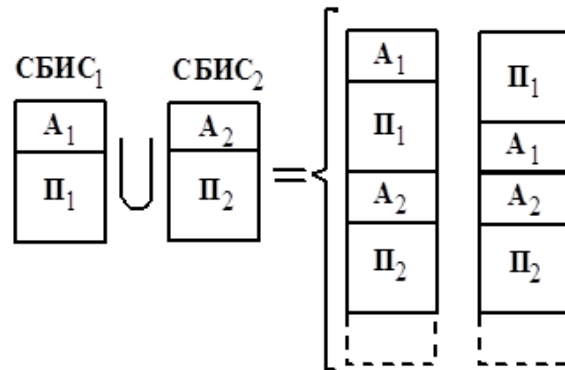
Лектор

Трубочкина Надежда Константиновна,
д.т.н., профессор, ntrubochkina@hse.ru

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ЭВМ

- **Элементы** ЭВМ – это та минимальная часть, на которую они разбиваются при логическом проектировании, например элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ.
- **Блоки** ЭВМ – это функционально законченные схемы, которые выполняют сложную функцию, например арифметико-логическое устройство или память ЭВМ.

Блок – СБИС. Конструкции и архитектура

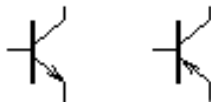
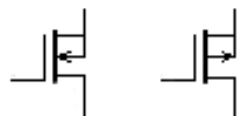
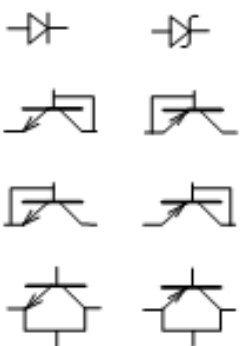




Компоненты транзисторной схемотехники

Компонентом схемотехники является ее **минимальная** (неделимая) часть, из которой осуществляется **синтез** схем.

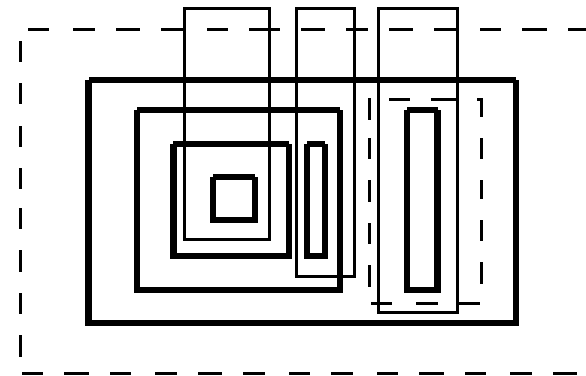
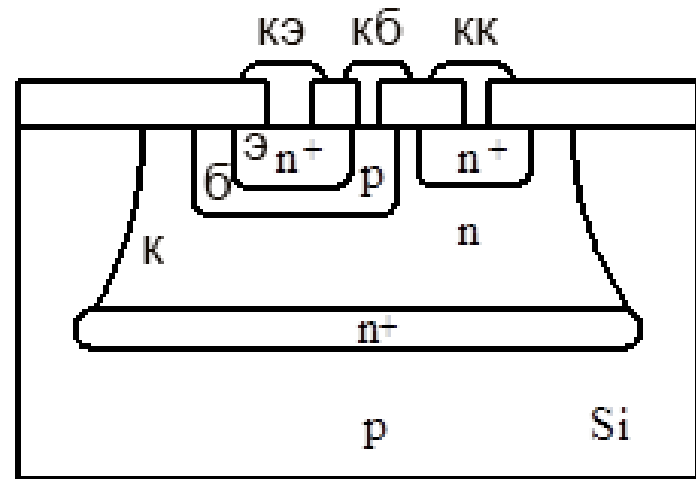
В *транзисторной* схемотехнике к компонентам относятся:

- транзисторы,
- диоды,
- резисторы,
- емкости.

№	Компонент	Обозначение, схема	Примечания
1	Биполярные транзисторы двух типов: n-p-n и p-n-p		В основном используют n-p-n транзисторы, как более быстродействующие. к – коллектор, б – база, э – эмиттер.
2	МОП транзисторы двух типов: n-канальные и p-канальные		и – исток, с – сток, з – затвор.
3	Диоды: - на базе p-n перехода и - диоды Шоттки – на базе переходов металл-полупроводник		В интегральных схемах (ИС) иногда в качестве диодов используют биполярные транзисторы в диодном включении.
4	Резисторы		В ИС номиналы резисторов варьируются от десятков Ом до десятков Ком
5	Емкости		Возможны 2 типа интегральных емкостей: либо на основе обратно смещенного p-n перехода, либо на базе МОП (метал-окисел-полупроводник) структуры

Интегральная структура и топология биполярного транзистора

р – материал (полупроводник),
имеющий р (дырочную)
проводимость,
п – полупроводник, имеющий п
(электронную) проводимость,
п+ – полупроводник, имеющий
обедненную электронную
проводимость,
б – база транзистора,
э – эмиттер транзистора,
к – коллектор транзистора,
кб – контакт базы,
кк – контакт коллектора,
кэ – контакт эмиттера.



Описание технологии создания интегральной структуры с помощью специальных операторов

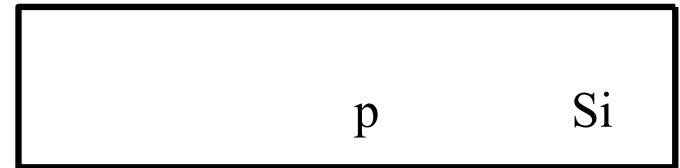
Исходным материалом для создания монокристаллических интегральных схем является кремниевая пластина p-типа (подложка p-типа).

Оператор подложки

SUBS <материал> <тип>
<концентрация>

SUBS SILICON p 1.0e+15

//кремниевая (SILICON) p-подложка с
//концентрацией носителей 10^{15}



Кремниевая пластина

Диффузия

Для уменьшения сопротивления тела коллектора проведем диффузию n⁺ типа под транзистор (маска 1).

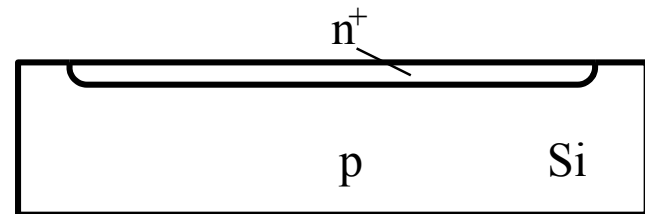
Оператор диффузии

```
DOPE <тип диффузии>  
<концентрация> <заход под  
окисел> <глубина>
```

```
DOPE N 1.5e+15 00e+00 5.0e-01
```

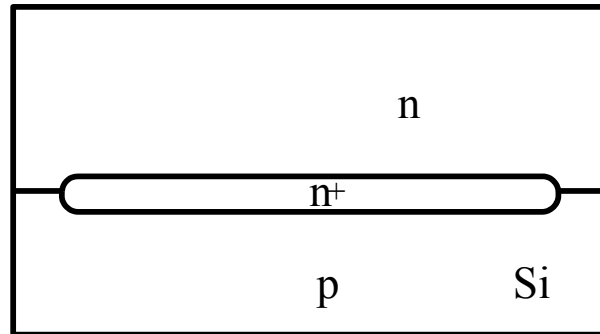
```
//диффузия n-типа с концентрацией  $1,5 \cdot 10^{15}$ , без захода под окисел,  
//глубиной  $5,0 \cdot 10^{-1}$  микрона
```

Диффузия n⁺ типа



Выращивание эпитаксиального слоя

Выращивание
эпитаксиального слоя



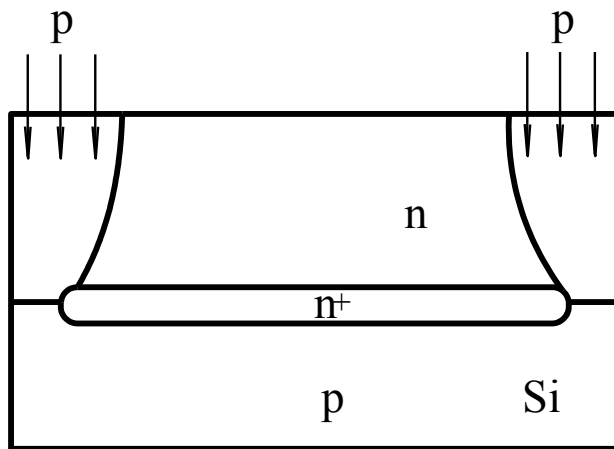
На пластине методом эпитаксиального выращивания выращивается эпитаксиальный слой кремния n-типа

SUBS SILICON n 1.0e+13

//подложка кремния n-типа
//с концентрацией 10^{13}

Разделительная р-диффузия

Разделительная р-диффузия



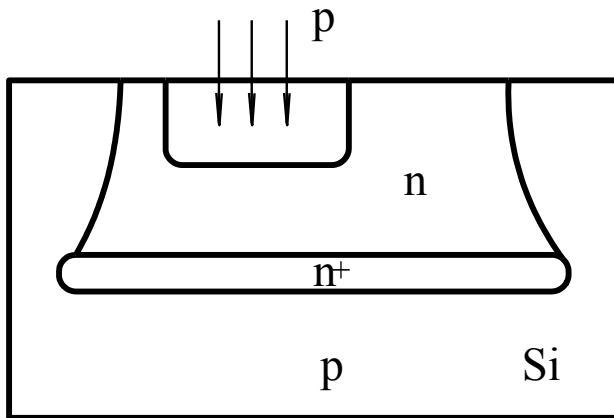
После этого проводят диффузию примеси р-типа до смыкания с р-кремнием. Образуются n-карманы для коллекторов транзисторов и карманов для резисторов. Эту диффузию проводят с использованием негативной маски 2, формирующей эти области.

DOPE P 1.0e+22 1.8e+00 2.0e-01

//диффузия р-типа с концентрацией $1,0 \cdot 10^{22}$, с заходом под окисел
//в 1,8 микрона, глубиной $2,0 \cdot 10^{-1}$ микрона

Базовая р-диффузия

Базовая р-диффузия

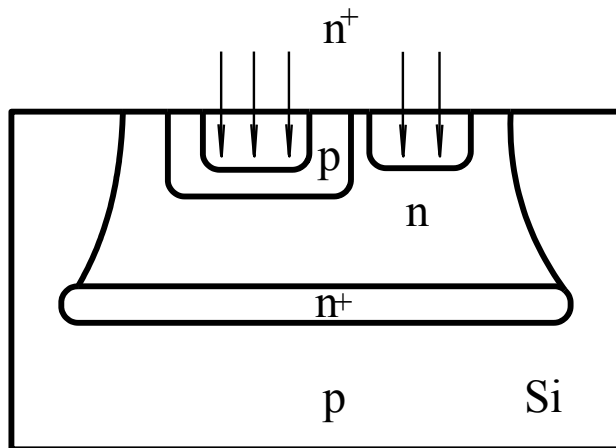


В карманы n-типа (коллекторы и карманы для резисторов) проводят диффузию примеси р-типа для создания областей баз транзисторов и р-резисторов. На этом этапе используют положительную маску 3 с топологиями баз и р-резисторов.

DOPE P 1.0e+15 10e+00 1.0e-01

Эмиттерная диффузия

Эмиттерная диффузия



С использованием положительной маски 4 с соответствующими топологиями осуществляют эмиттерную диффузию n+ типа: в базовые области для создания эмиттеров, в коллекторные области для создания низкоомной области под коллекторным контактом, в подложку p-типа для создания низкоомных резисторов, использующихся для разводки соединений

DOPE N 1.0e+22 7.0e-01 1.0e-01

Окисление

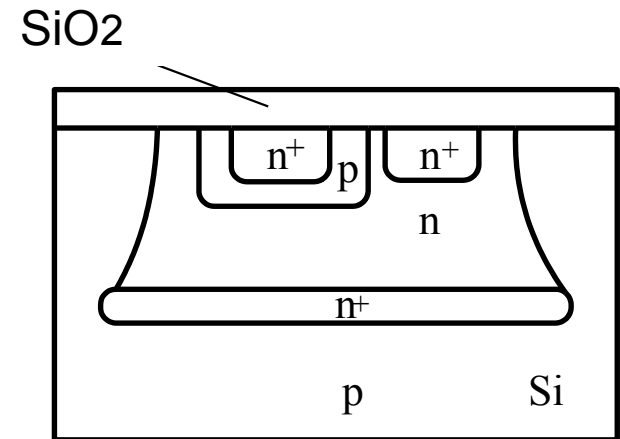
Для создания изолирующего слоя, окисляем пластину, создаем слой двуокиси кремния.

Оператор окисления

OXID <окисел> <толщина>

OXID OX6 3.0e-01

Окисление



Травление

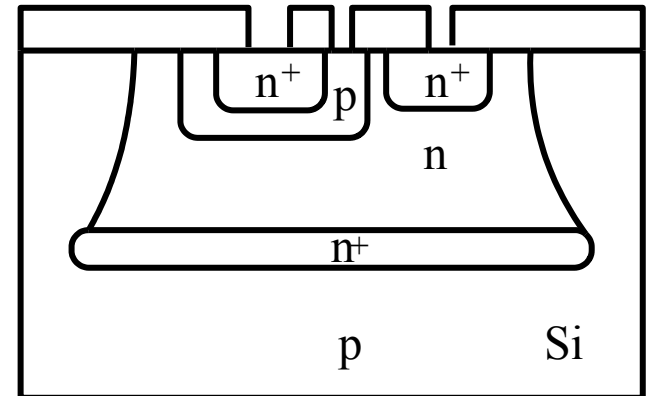
Далее с помощью положительной маски 5 на этапе операции травления окисла вскрываем контактные окна к эмиттеру, базе, коллектору и в других необходимых местах для организации подачи управляющих сигналов в различные полупроводниковые области.

Оператор травления

ETCH <материал> <глубина
травления>

ETCH OX0 3.0e-01

Травление



Нанесение металла

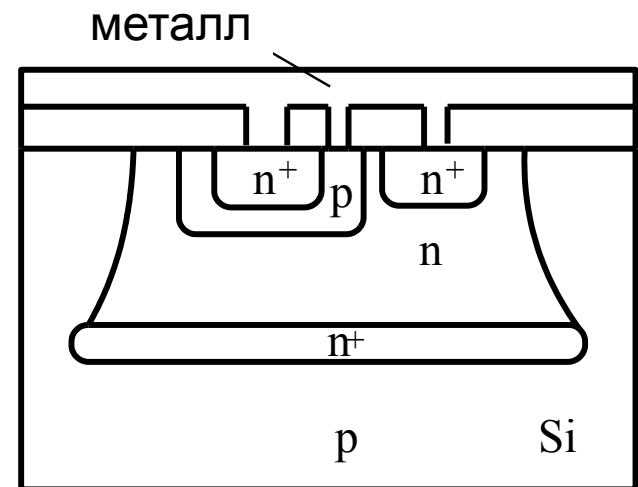
Напыляем алюминий для создания металлического проводящего слоя, из которого на последующей операции будут сформированы соединения (вытравливают ненужное).

Оператор нанесения материала

DEPO <материал> <толщина>

DEPO METL 5.0e-01

Нанесение металла



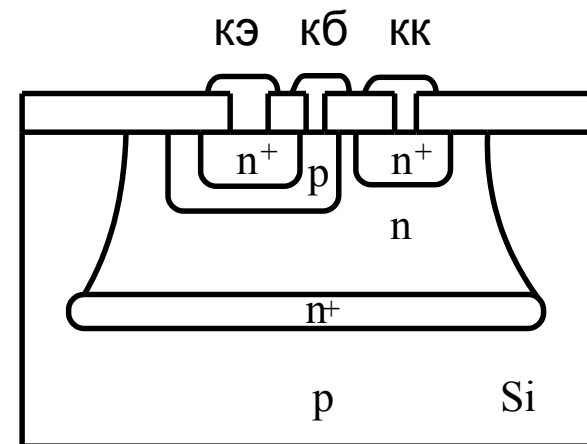
Создание соединений

С использованием негативной маски 6 вытравливаем лишний металл и создаем необходимые соединения.

ETCH METL 5.0e-01

Так как необходимо, чтобы диффузия проводилась в определенных зонах, перед каждой диффузией проводится фотолитография.

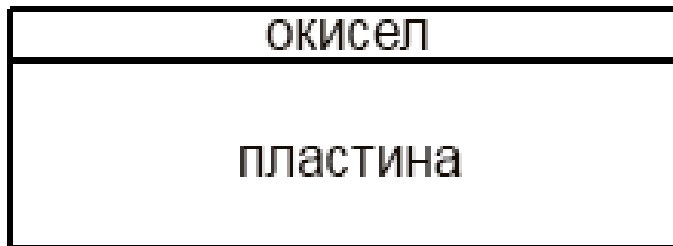
Создание соединений



Фотолитография. Этапы

Окисление пластины

Пластину, в которой должна быть проведена диффузия, покрываем окислом

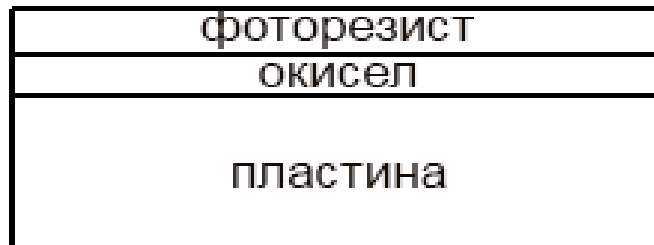


OXID OX6 1.0e-01

Нанесение фоторезиста

Нанесение фоторезиста

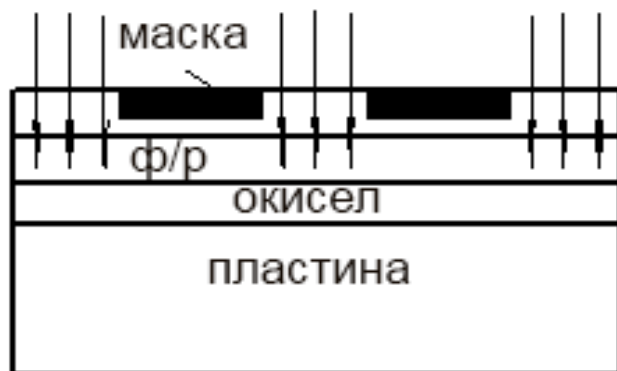
На слой окисла наносят
светочувствительный
фоторезиста слой



DEPO RST 1.0e-01

Наложение фотошаблона и засветка

Наложение фотошаблона и засветка



На фоторезист накладывается фотошаблон (маска – рисунок зон диффузии).

Оператор маски

`MASK` <материал предыдущего
слоя> <убираемый материал>
<номер> <позитивная /
негативная>

MASK RST DRST 4 POSI

Проводится засветка ультрафиолетовым светом. Там, где свет попадает на фоторезист, фоторезист поляризуется.

Вытравливание незасвеченного фоторезиста

Вытравливание
незасвеченного фоторезиста



После этого фотошаблон
убирается, и пластина
помещается в специальный
травитель.

Травитель стравливает
незасвеченные участки
фоторезиста DRST

ETCH DRST 1.5e-01

Снятие остатков фоторезиста

Снятие остатков
фоторезиста



Далее пластина помещается в травитель, вытравливающий окись кремния на освобожденных от фоторезиста участках

ETCH OX1 1.0e-01

После этого травитель смывается, пластина помещается в диффузионную печь, где диффузия примесей происходит только там, где нет окисла кремния.

Программа создания интегральных биполярных схем в эпитаксиально-планарной технологии

SUBS SILICON p 1.0e+15

DEPO RST 5.0e-01

MASK RST DRST 1 POSI

ETCH NTRD 5.0e-01

ETCH RST 6.0e-01

OXID NTRD 6.0e-01

ETCH NTRD 6.0e-01

DOPE N 1.5e+15 00e+00 5.0e-01

ETCH OX0 1.0e-01

SUBS SILICON n 1.0e+13

OXID OX3 1.0e-02

DEPO NTR 1.0e-01

MASK RST DRST 2 NEGA

ETCH NTRD 2.0e-01

ETCH OX0 2.0e-01

DOPE P 1.0e+22 1.8e+00 2.0e-01

ETCH RST 1.0e-01

DEPO RST 1.0e-01

MASK RST DRST 3 POSI

ETCH DRST 1.5e-01

DOPE P 1.0e+15 10e+00 1.0e-01

ETCH OX 3.0e-01

OXID OX6 1.0e-01

DEPO RST 1.0e-01

MASK RST DRST 4 POSI

ETCH DRST 1.5e-01

ETCH OX1 1.0e-01

DOPE N 1.0e+22 7.0e-01 1.0e-01

OXID OX6 3.0e-01

DEPO RST 3.0e-01

MASK RST DRST 5 POSI

ETCH RST 3.0e-01

ETCH OX0 3.0e-01

DEPO METL 5.0e-01

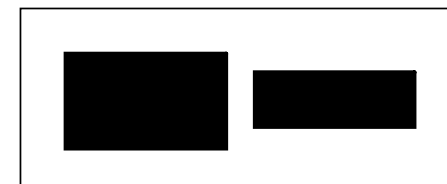
DEPO RST 5.0e-01

MASK RST DRST 6 NEGA

ETCH DRST 6.0e-01

ETCH METL 5.0e-01

КТОП (Модуль 3)



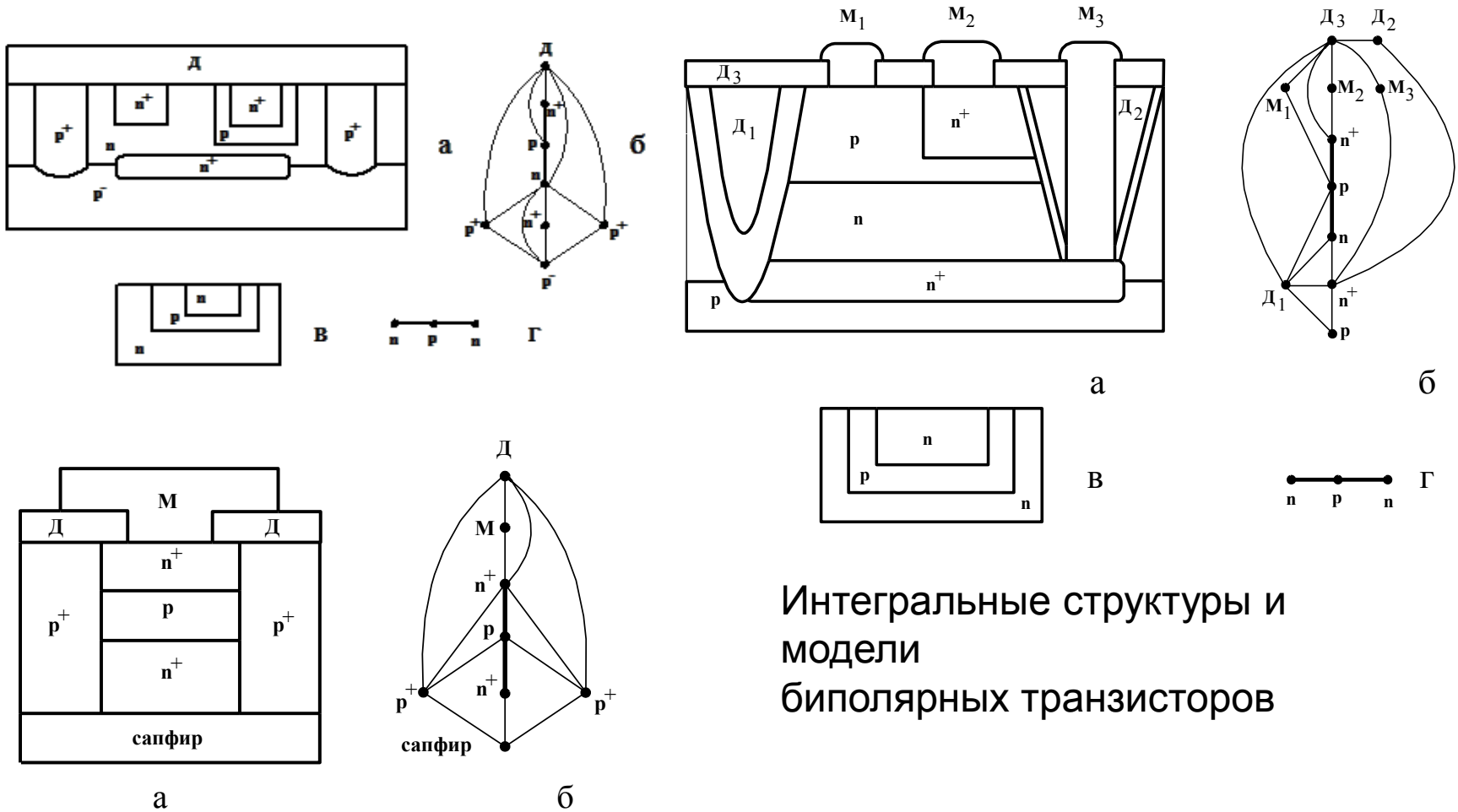
а



б

Маски: а – позитивная (POSI),
б – негативная (NEGA)

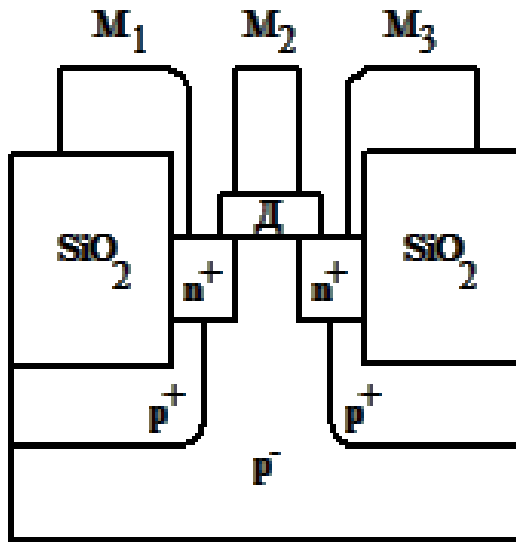
Представление интегральных структур транзисторов как схем переходной схемотехники



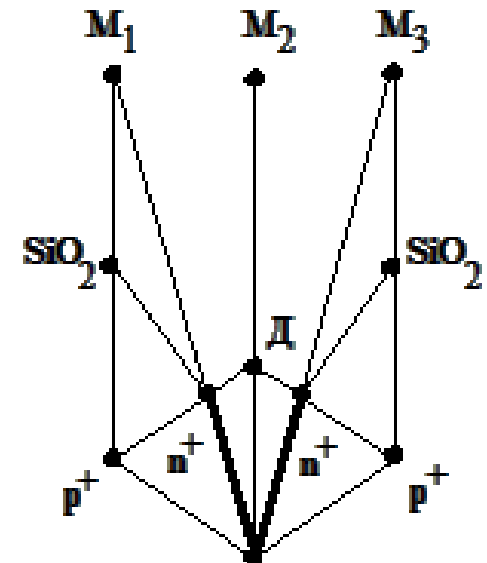
Интегральные структуры и модели биполярных транзисторов

Интегральная структура (а) и модель (б) униполярного транзистора (МОП)

- у биполярных транзисторов основополагающей (рабочей) является **пара связанных p-n переходов**, остальные переходы являются вспомогательными,
- у МОП транзисторов рабочей является система трех взаимно-связанных переходов (**2 p-n перехода и переход окисел-полупроводник**).



а



б

Спасибо за внимание!

