

# «Разработка вычислительных систем» (РВС)

для образовательной программы 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Лекция 3

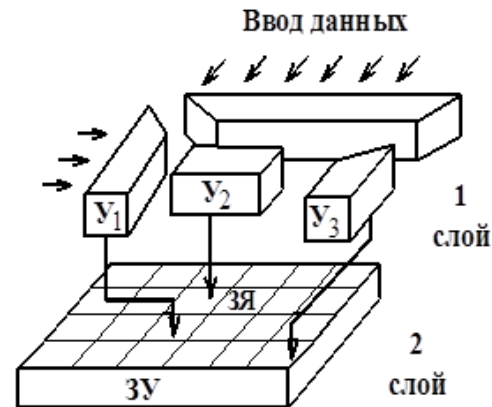
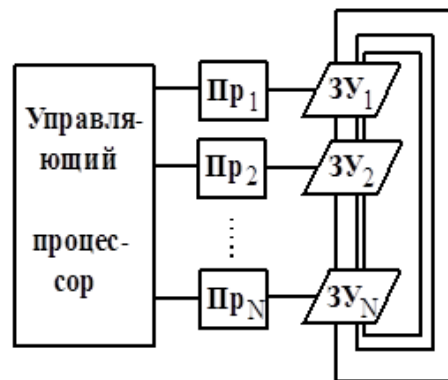
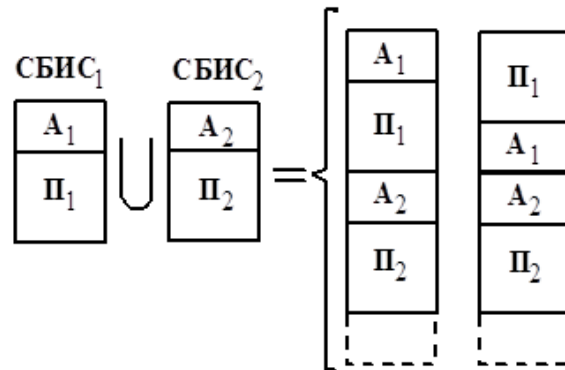
Лектор

Трубочкина Надежда Константиновна,  
д.т.н., профессор, [ntrubochkina@hse.ru](mailto: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

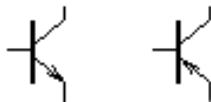
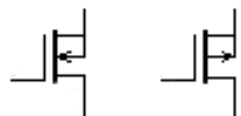





# Компоненты транзисторной схемотехники

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

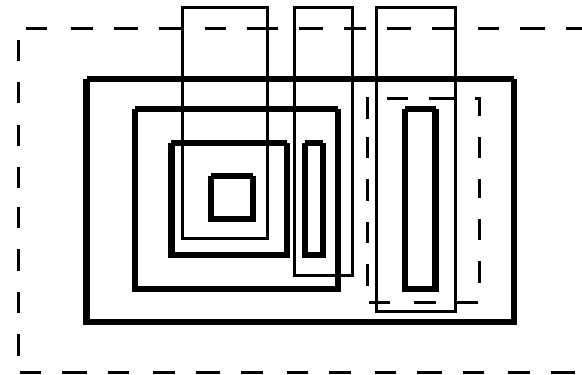
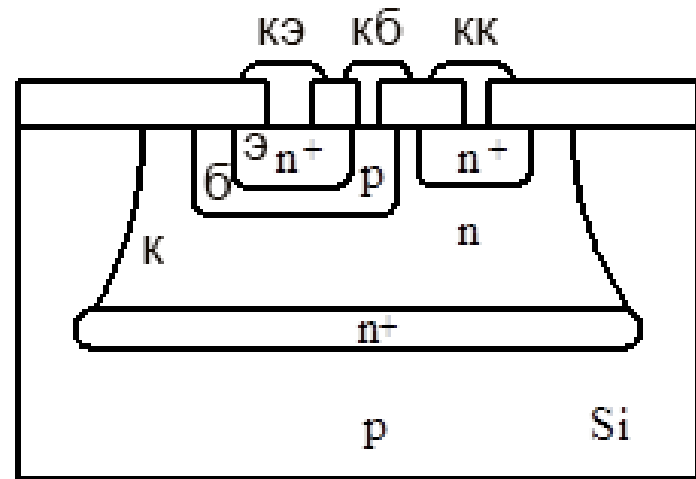
В *транзисторной* схемотехнике к компонентам относятся:

- 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

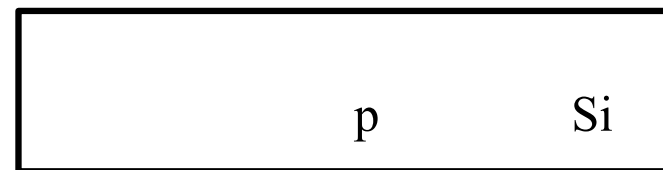
Исходным материалом для создания монокристаллических интегральных схем является кремниевая пластина p-типа (подложка p-типа).

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<sup>+</sup> типа под транзистор (маска 1).

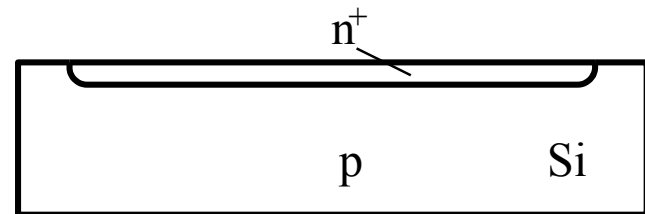
Оператор диффузии

```
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
```

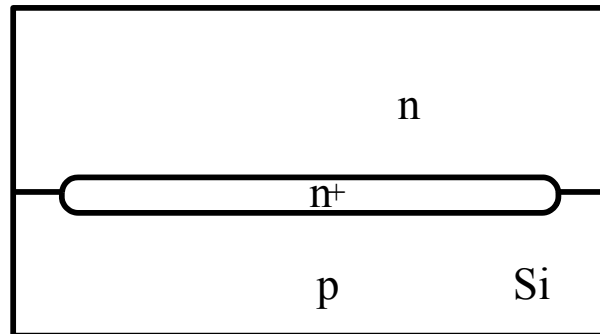
Диффузия n<sup>+</sup> типа





# Выращивание эпитаксиального слоя

Выращивание  
эпитаксиального слоя



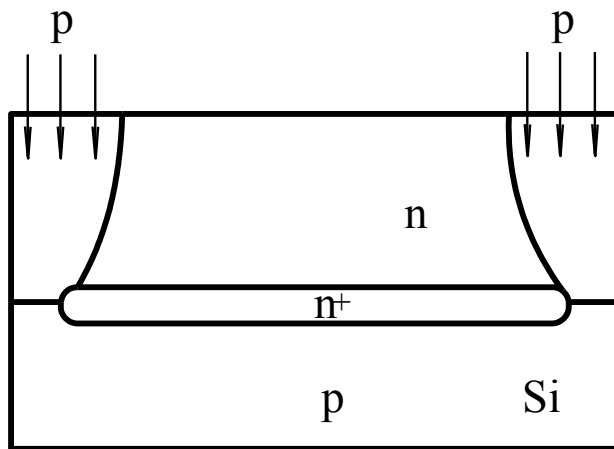
На пластине методом эпитаксиального выращивания выращивается эпитаксиальный слой кремния n-типа

**SUBS SILICON n 1.0e+13**

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

# Разделительная р-диффузия

## Разделительная р-диффузия



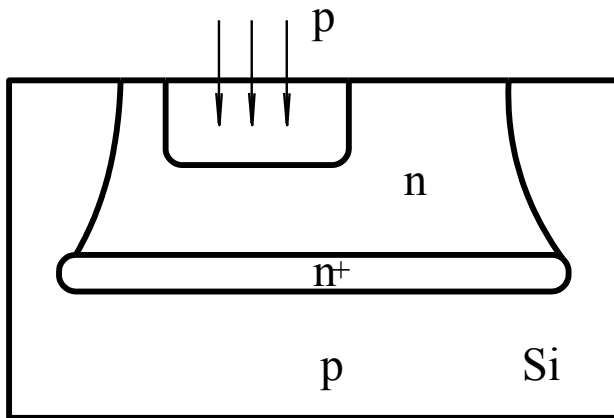
После этого проводят диффузию примеси р-типа до смыкания с р-кремнием. Образуются n-карманы для коллекторов транзисторов и карманов для резисторов. Эту диффузию проводят с использованием негативной маски 2, формирующей эти области.

**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

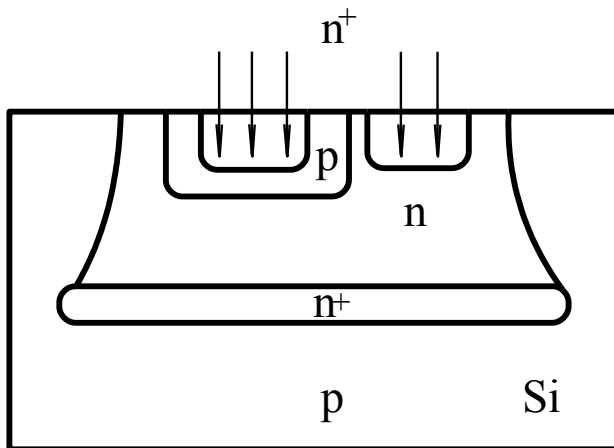


В карманы n-типа (коллекторы и карманы для резисторов) проводят диффузию примеси р-типа для создания областей баз транзисторов и р-резисторов. На этом этапе используют положительную маску 3 с топологиями баз и р-резисторов.

**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

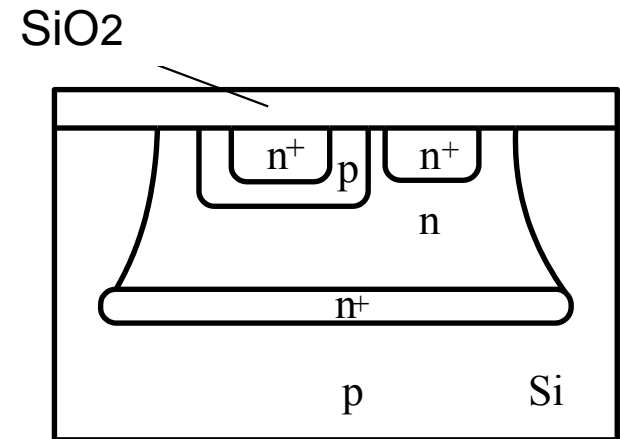
Для создания изолирующего слоя, окисляем пластину, создаем слой двуокиси кремния.

Оператор окисления

OXID <окисел> <толщина>

**OXID OX6 3.0e-01**

Окисление



# Травление

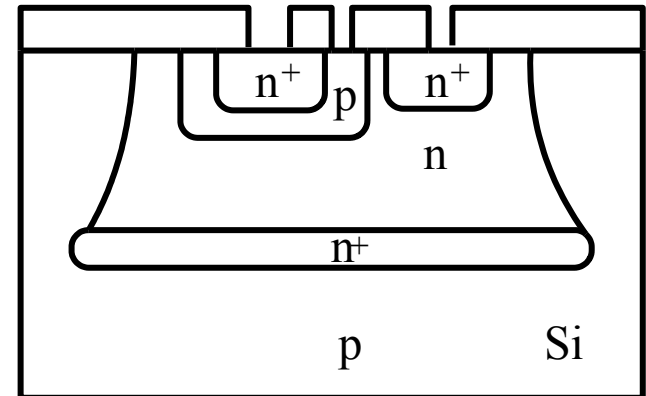
Далее с помощью положительной маски 5 на этапе операции травления окисла вскрываем контактные окна к эмиттеру, базе, коллектору и в других необходимых местах для организации подачи управляющих сигналов в различные полупроводниковые области.

Оператор травления

ETCH <материал> <глубина  
травления>

**ETCH OX0 3.0e-01**

Травление



# Нанесение металла

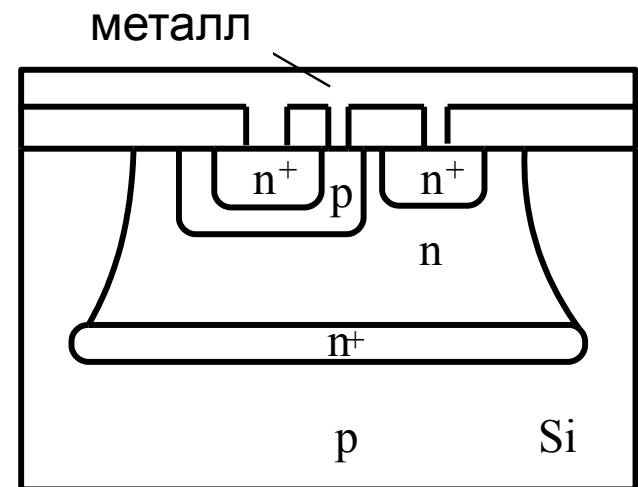
Напыляем алюминий для создания металлического проводящего слоя, из которого на последующей операции будут сформированы соединения (вытравливают ненужное).

Оператор нанесения материала

DEPO <материал> <толщина>

**DEPO METL 5.0e-01**

Нанесение металла



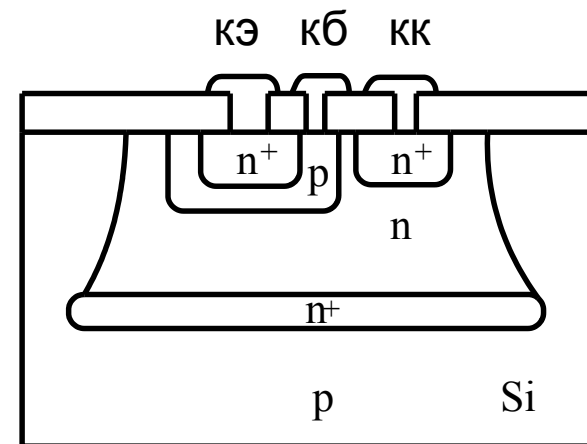
# Создание соединений

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

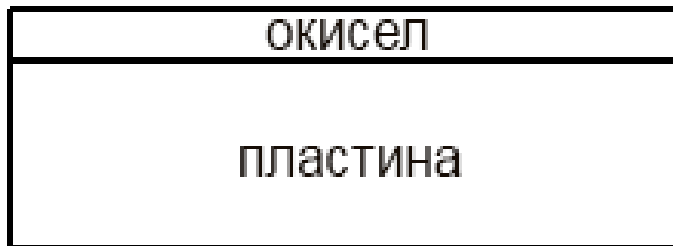




# Фотолитография. Этапы

Окисление пластины

Пластину, в которой должна быть проведена диффузия, покрываем окислом

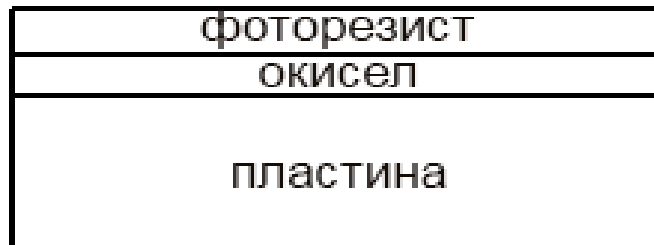


**OXID OX6 1.0e-01**

# Нанесение фоторезиста

Нанесение фоторезиста

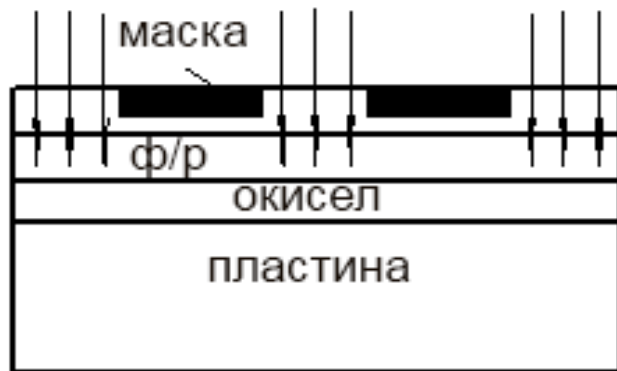
На слой окисла наносят  
светочувствительный  
фоторезиста слой



**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

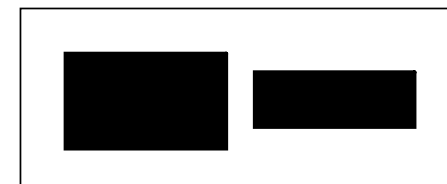
**DEPO METL** 5.0e-01

DEPO RST 5.0e-01

**MASK** RST DRST 6 NEGA

ETCH DRST 6.0e-01

ETCH METL 5.0e-01



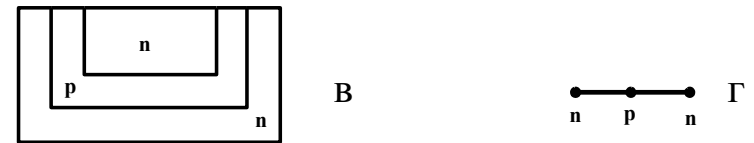
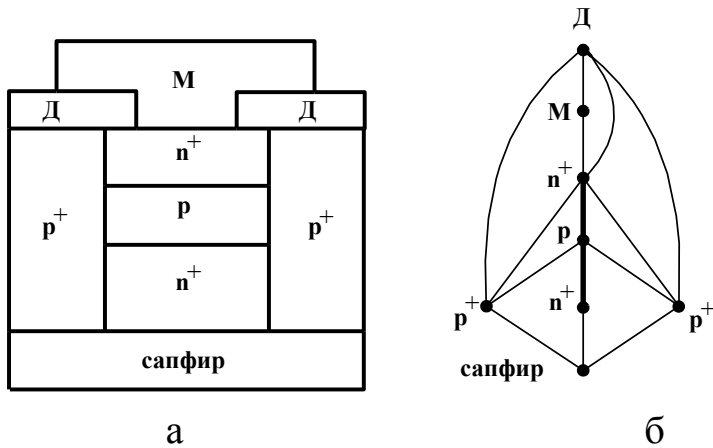
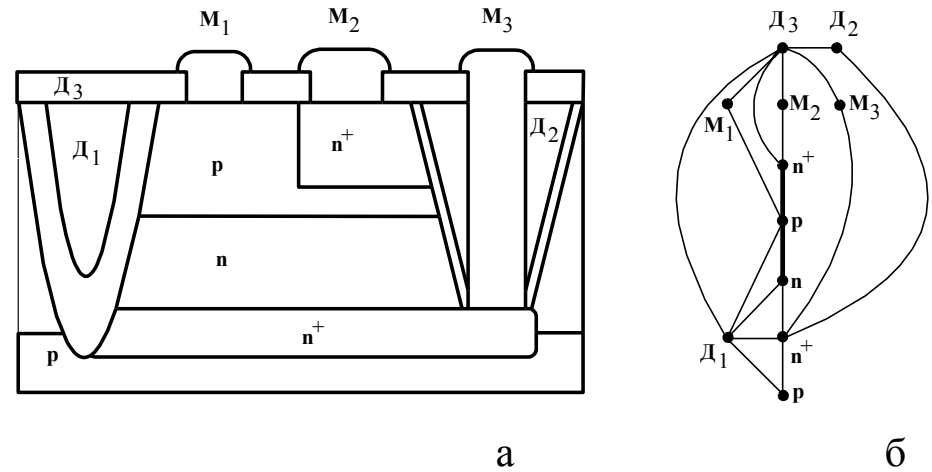
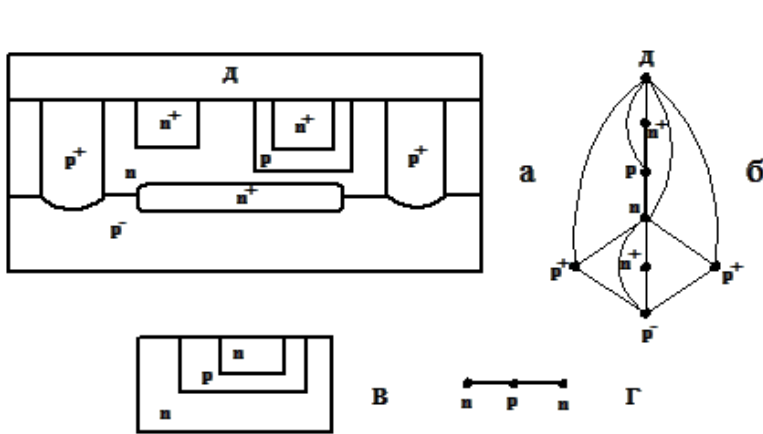
а



б

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

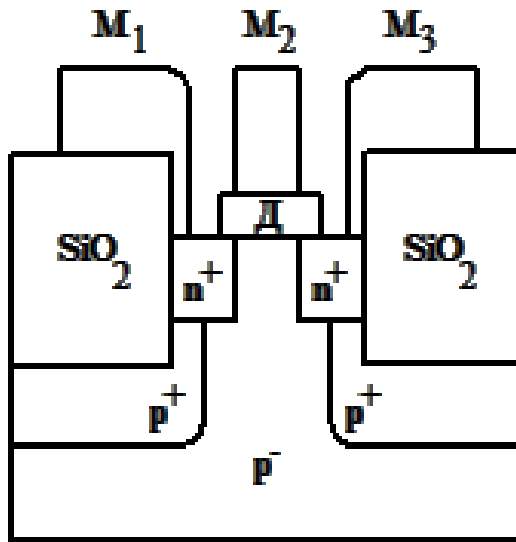
# Представление интегральных структур транзисторов как схем переходной схемотехники



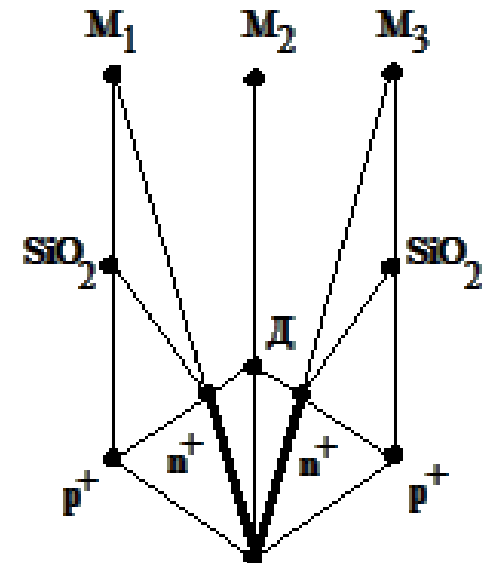
Интегральные структуры и модели биполярных транзисторов

# 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!**

