

# Физические основы построения ЭВМ

**Цели курса:** изучение  
физических основ  
построения ЭВМ,  
рассмотрение организации  
интегральных схем, а также  
изучение основ работы в  
программе Electronics  
Workbench.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Бройдо В.Л. Архитектура  
ЭВМ и систем: Учебник  
для вузов 2-е издание  
[Текст] / Бройдо В.Л.,  
Ильина О.П. – СПб.:  
Питер, 2009.

1. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. Издание 5-е. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 800 с.: ил.

**Лекция 1.**

**Основы теории  
электропроводимости  
твёрдого тела**

# Вопросы:

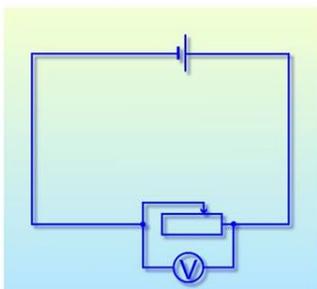
1. Элементы энергетической модели атома
2. Электропроводимость полупроводников.
3. Понятие  $n$ - $p$ -перехода

# 1.Элементы энергетической модели атома

Носители информации – количественные показатели напряжения, тока и заряда. В реальных электронных цепях наблюдается их изменение во времени.

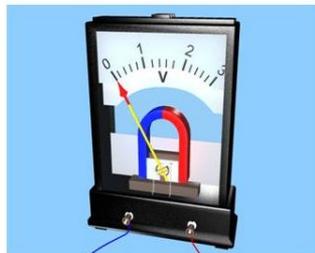
**Напряжение** – физическая величина, характеризующая работу электрического поля по перемещению единичного заряда между 2-мя точками.

- Обозначается – **U**
- Измеряется в Вольтах, **В**
- Прибор для измерения-



Вольтметр

$$U = A / q$$



6

### Сила тока

- величина, показывающая какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника в 1 секунду

$$I = q/t$$

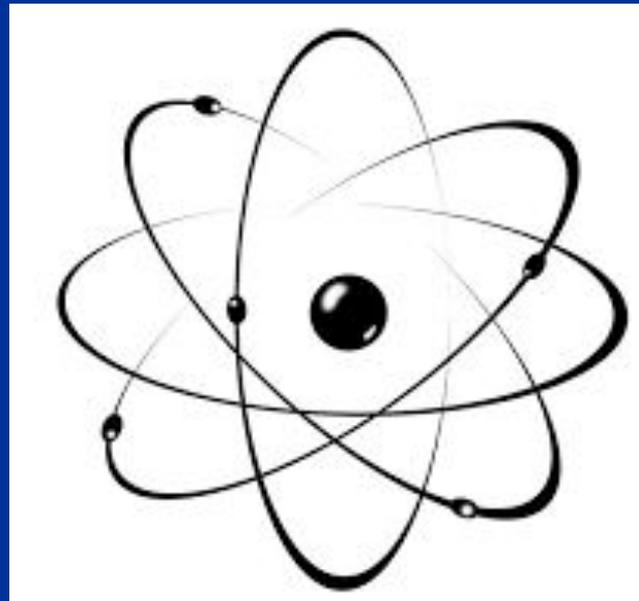
I - сила тока

q - электрический заряд

t - время

Единицы измерения  $[I] = A$

В процессе передачи и преобразования электрической энергии **большую роль играют электроны.**



**Электроны** — это мельчайшие элементарные частицы материи, обладающие электрической энергией.



$$D = 5 \cdot 10^{-13} \text{ см,}$$

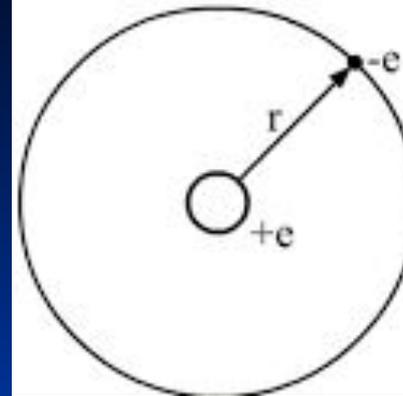
$$m = 9 \cdot 10^{-28} \text{ грамм,}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

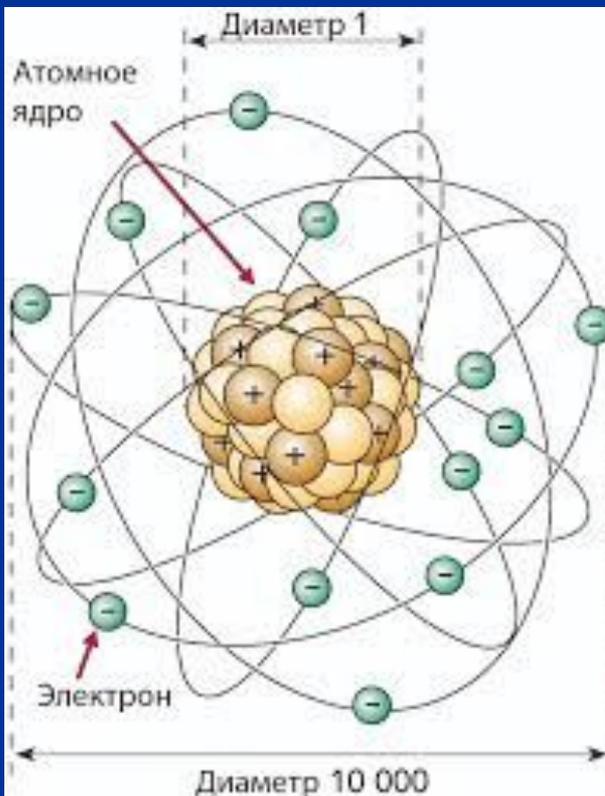
Атомное ядро – тело малых размеров, в котором сконцентрированы почти вся масса и весь положительный заряд атома.

Диаметр ядра порядка  $10^{-12} - 10^{-13}$  см.

Атом водорода



В атоме водорода вокруг ядра обращается всего один электрон. Ядро было названо **протоном**.  $m_p = 1836,1 m_e$ . Размер атома – это радиус орбиты его электрона.



Каждый электрон имеет **наименьший** встречающийся в природе **электрический заряд** — **элементарный электрический заряд**.

# ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В зависимости от концентрации свободных зарядов вещества делятся на следующие виды:

ПРОВОДНИКИ	ДИЭЛЕКТРИКИ	ПОЛУПРОВОДНИКИ
<ul style="list-style-type: none"><li>- это вещества, которые хорошо проводят электрический ток</li><li>- высокая концентрация свободных зарядов</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- это вещества, которые не проводят электрический ток</li><li>- свободные заряды практически отсутствуют</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками</li></ul>

Согласно принципам квантовой механики электроны изолированного атома обладают вполне определенными значениями энергии, составляющими конечную совокупность дискретных уровней энергии атома, т.е. они находятся на определенных энергетических уровнях.

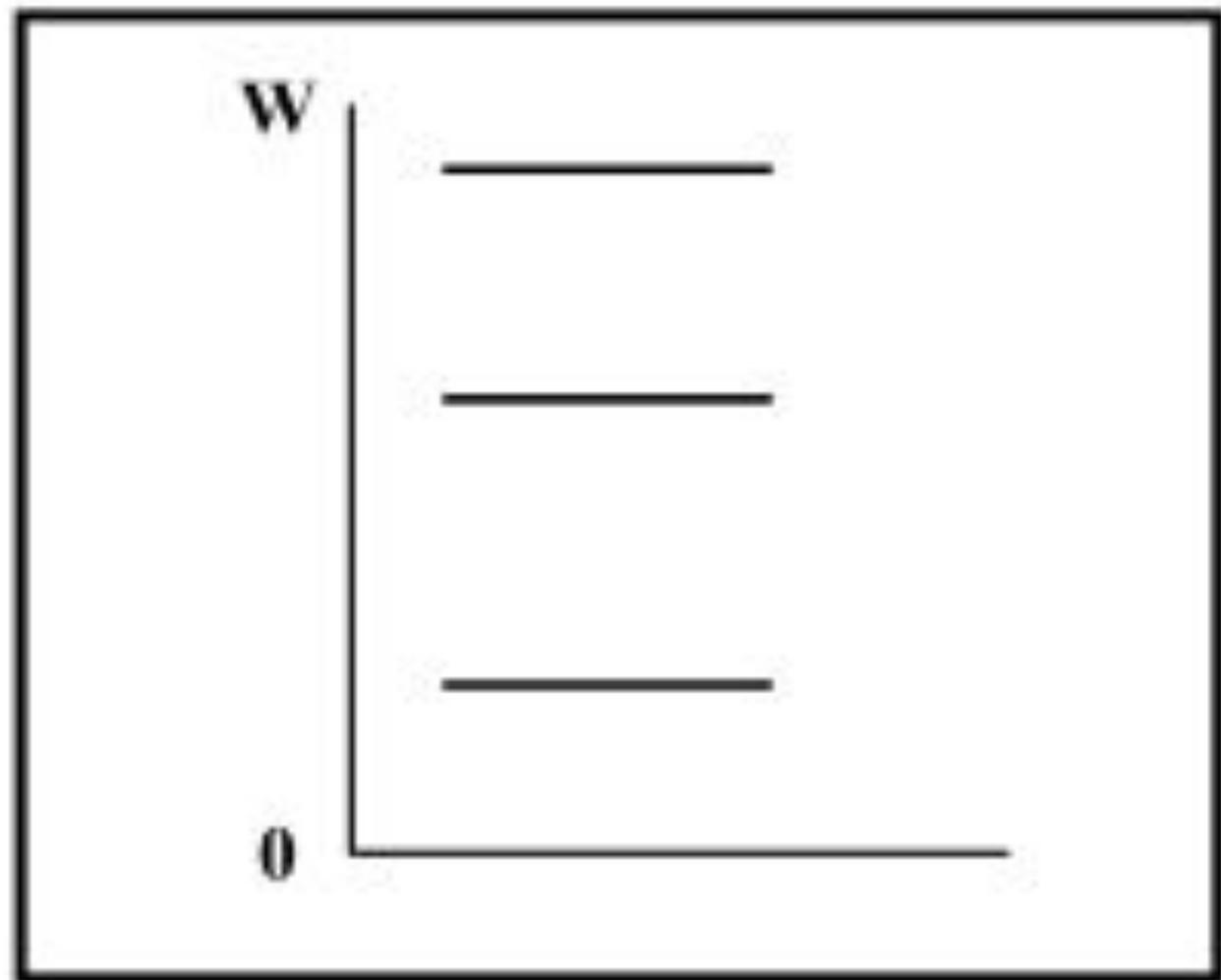
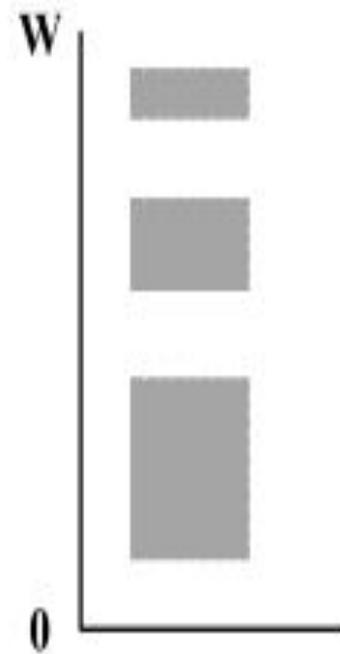
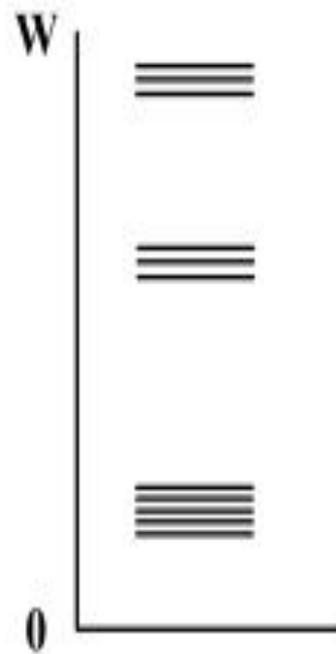
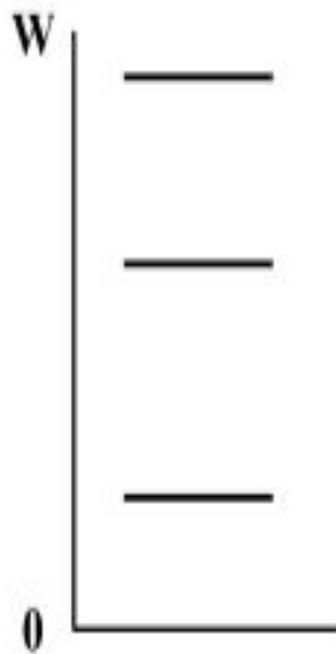


Рисунок 1 - Уровни энергии электронов изолированного атома

Для теоретического обоснования экспериментальных данных можно применить достаточно простую модель энергетических зон:

*Валентная зона*, это первая энергетическая зона, в которой сгруппированы уровни энергий электронов, связанных с атомами твердого тела.



Уровни изолированного атома

Совокупность уровней

Разрешенные энергетические  
зоны чередуются с  
запрещенными зонами

Рисунок 2 – Схема образования разрешенных и запрещенных энергетических зон атомов твердого тела

Далее идет *запрещенная зона*.

Запрещенная зона объединяет уровни энергий, которые не могут принимать электроны атомов данного вещества.

*Зона проводимости* отделяется от валентной зоны запрещенной.

Электроны, перешедшие в эту зону, фактически оторваны от атомов кристалла; их считают свободными электронами.

При  $T=0^\circ\text{K}$  (рисунок 3) валентная зона всегда полностью заполнена, тогда как зона проводимости либо заполнена в нижней части, либо полностью пуста. Первый случай характерен металлам, а второй — диэлектрикам и полупроводникам.

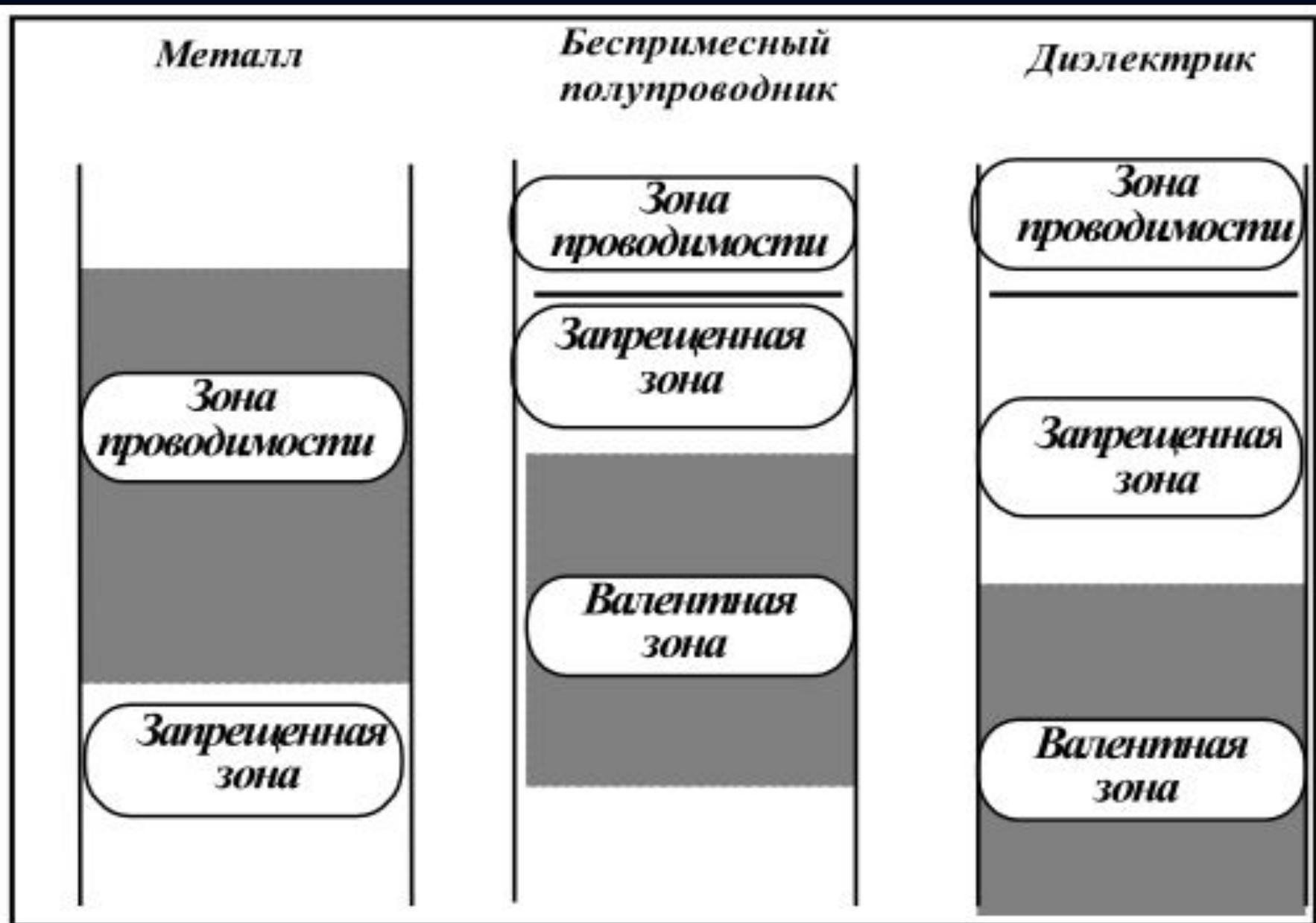


Рисунок 3 – Зонные диаграммы при  $T = 0 \text{ K}$

2.

# ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

**Электропроводность**  
**полупроводников** резко  
**увеличивается с повышением**  
**температуры.**

Удельное  
сопротивление полупроводника  
убывает с ростом температуры  
примерно так, как показано на  
рис.1.

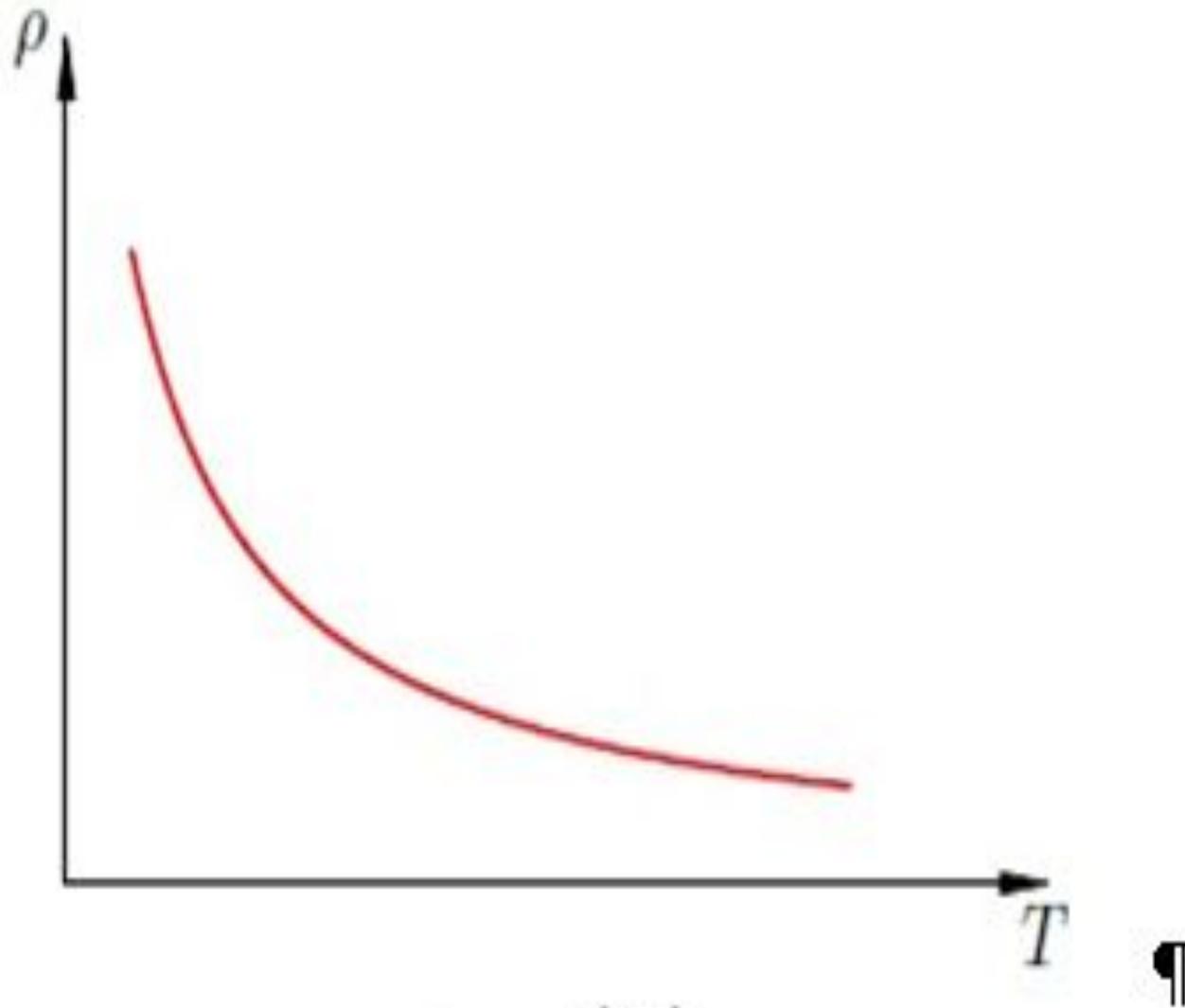


Рис. 1. Зависимость  $\rho = \rho(T)$  для полупроводника

Согласно принципам квантовой механики электроны изолированного атома обладают вполне определенными значениями энергии, т.е. они находятся на определенных энергетических уровнях (рисунок 1).

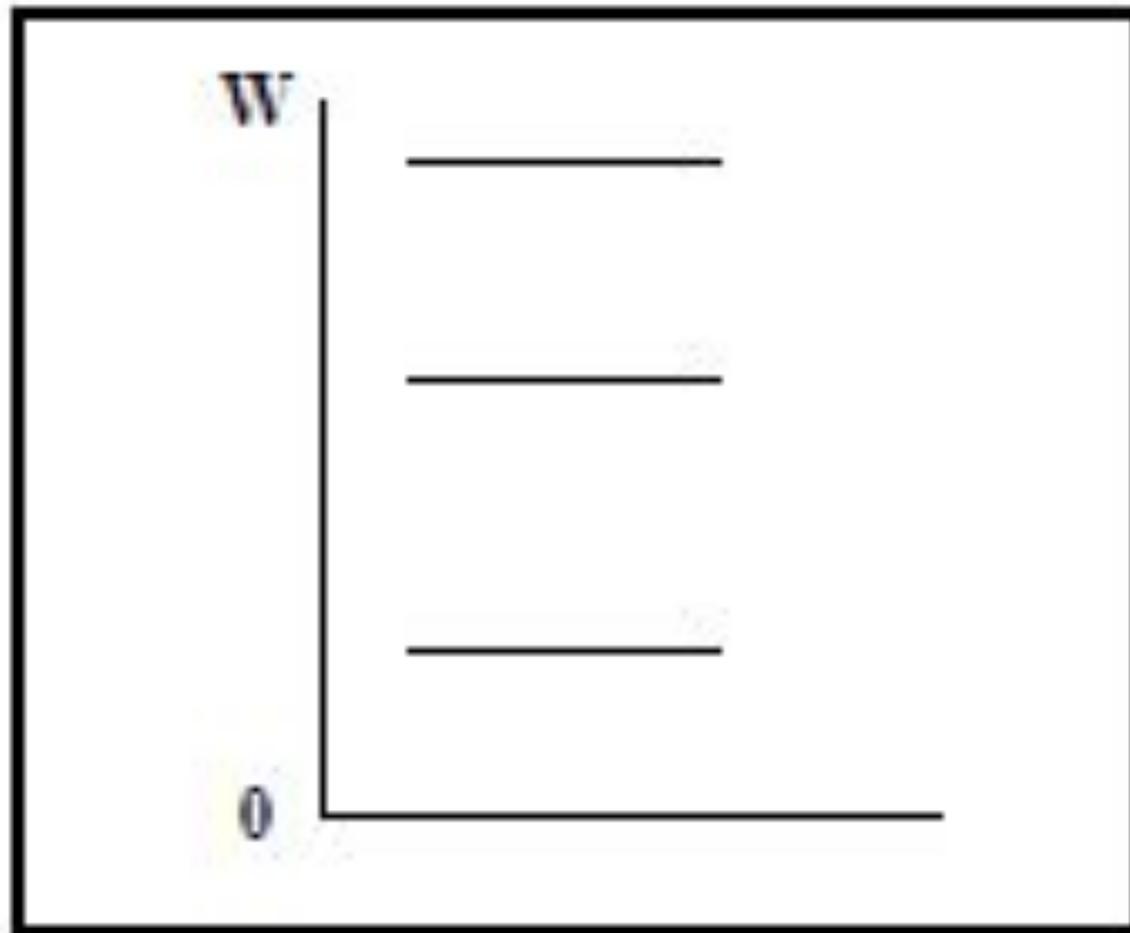
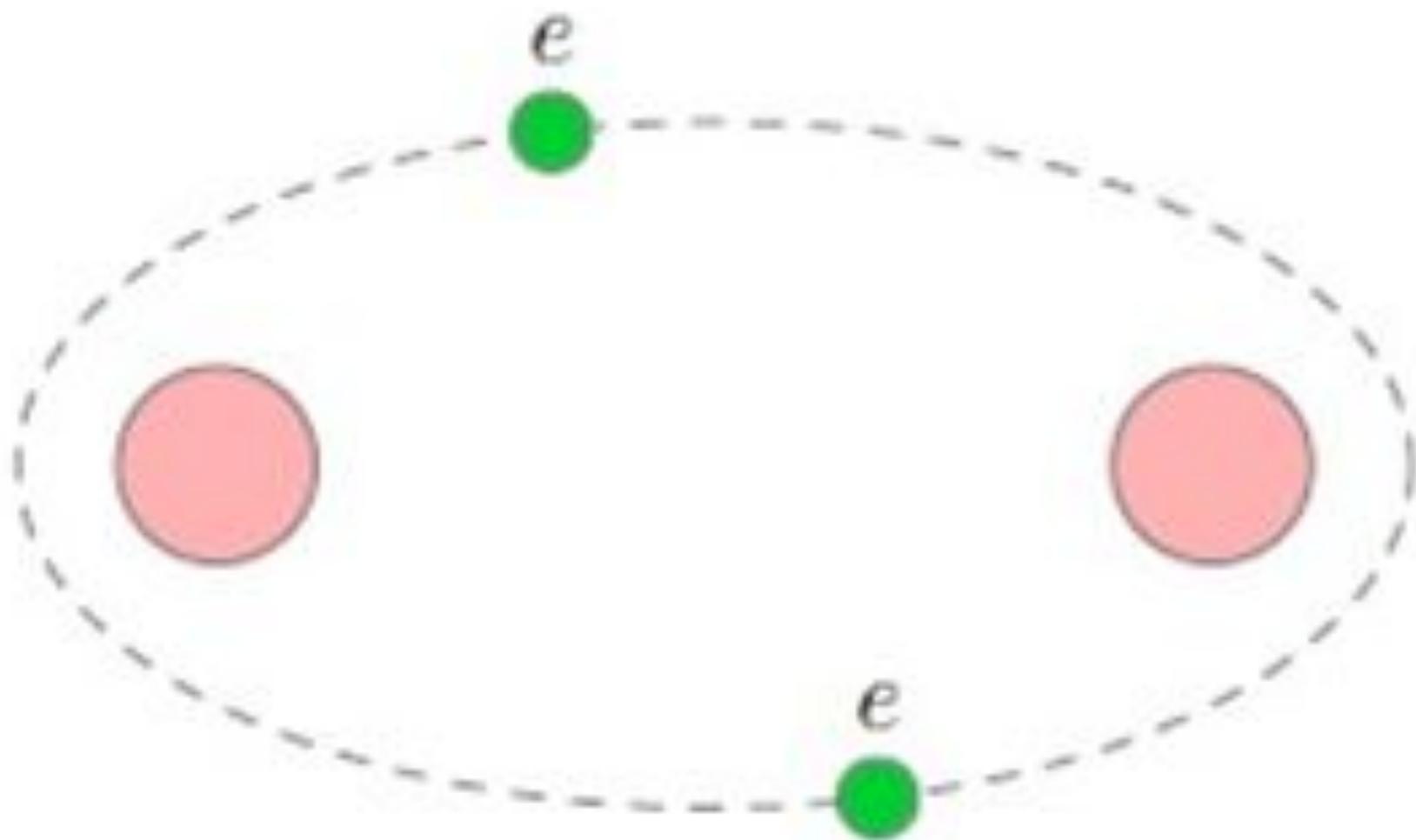


Рисунок 1 - Уровни энергии электронов  
изолированного атома

# Ковалентная связь

Электроны, находящиеся на внешнем электронном уровне и называемые *валентными*, слабее связаны с атомом, чем остальные электроны, которые расположены ближе к ядру.

В процессе образования ковалентной связи два атома вносят «в общее дело» по одному своему валентному электрону. Эти два электрона обобществляются, то есть теперь принадлежат уже обоим атомам, и потому называются *общей электронной парой* (рис. 2).

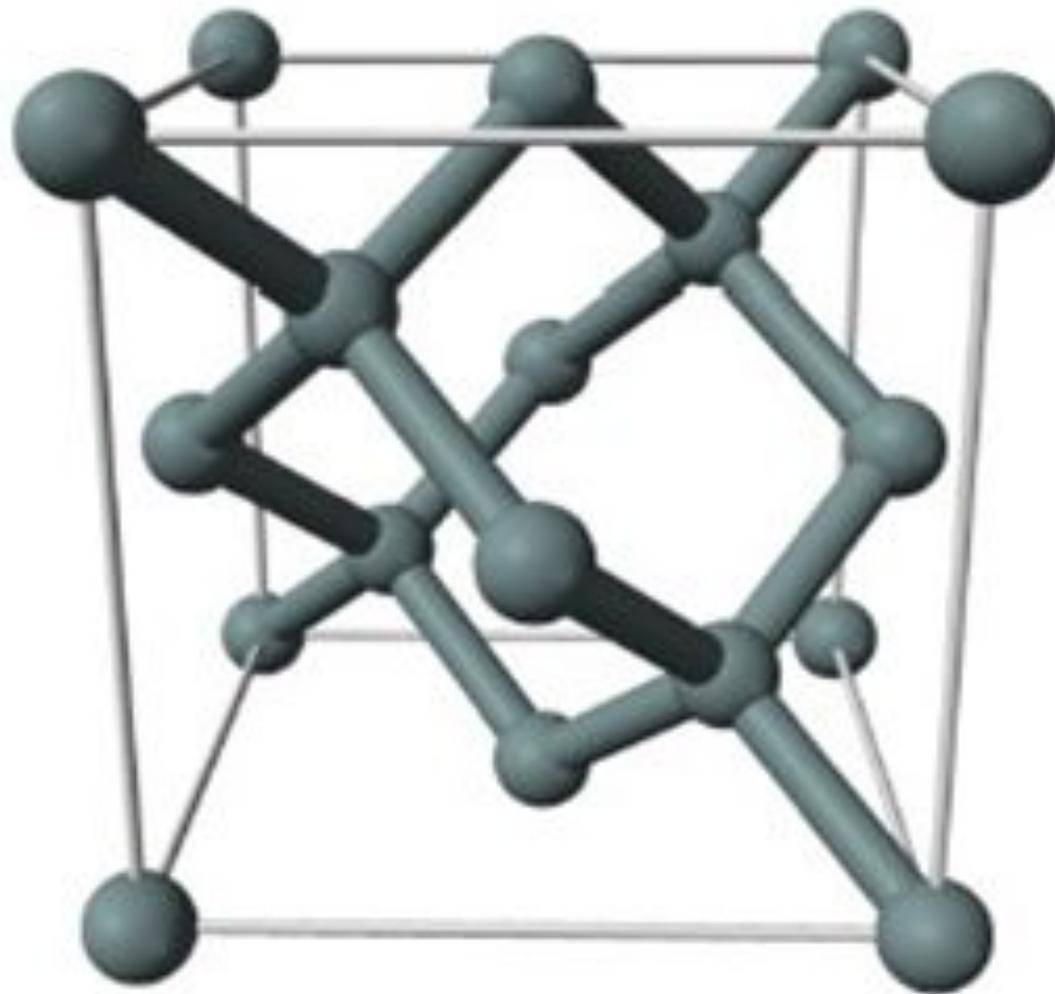


**Рис. 2. Ковалентная связь**

# Кристаллическая структура кремния

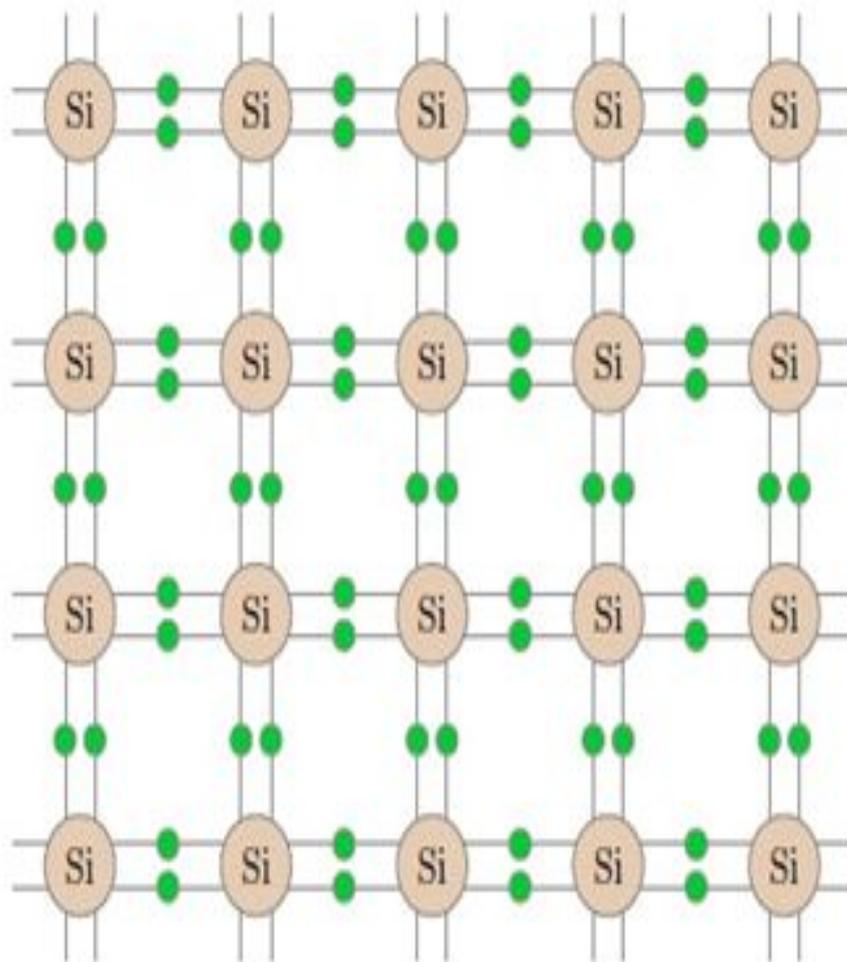
Пространственная структура кремния представлена на рис.

3. Шариками изображены атомы кремния, а трубки, их соединяющие, — это каналы ковалентной связи между атомами.



**Рис. 3. Кристаллическая структура кремния**

Более подробно мы видим это на плоской схеме кристаллической решётки кремния (рис. 4).

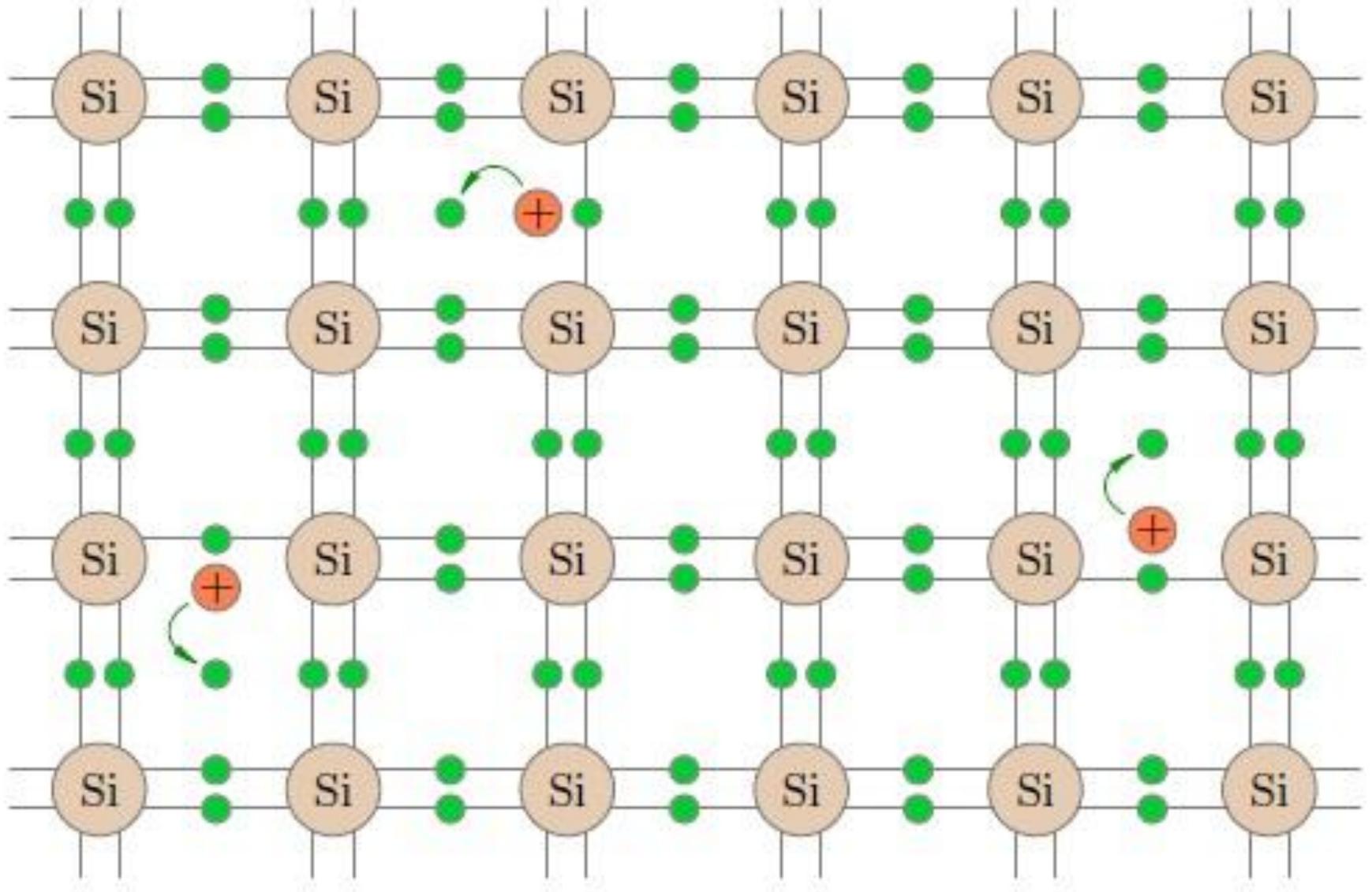


**Рис. 4. Кристаллическая решётка кремния**

Ковалентные связи изображены парами линий, соединяющих атомы. На этих линиях находятся общие электронные пары. Каждый валентный электрон, расположенный на такой линии, большую часть времени проводит в пространстве между двумя соседними атомами.

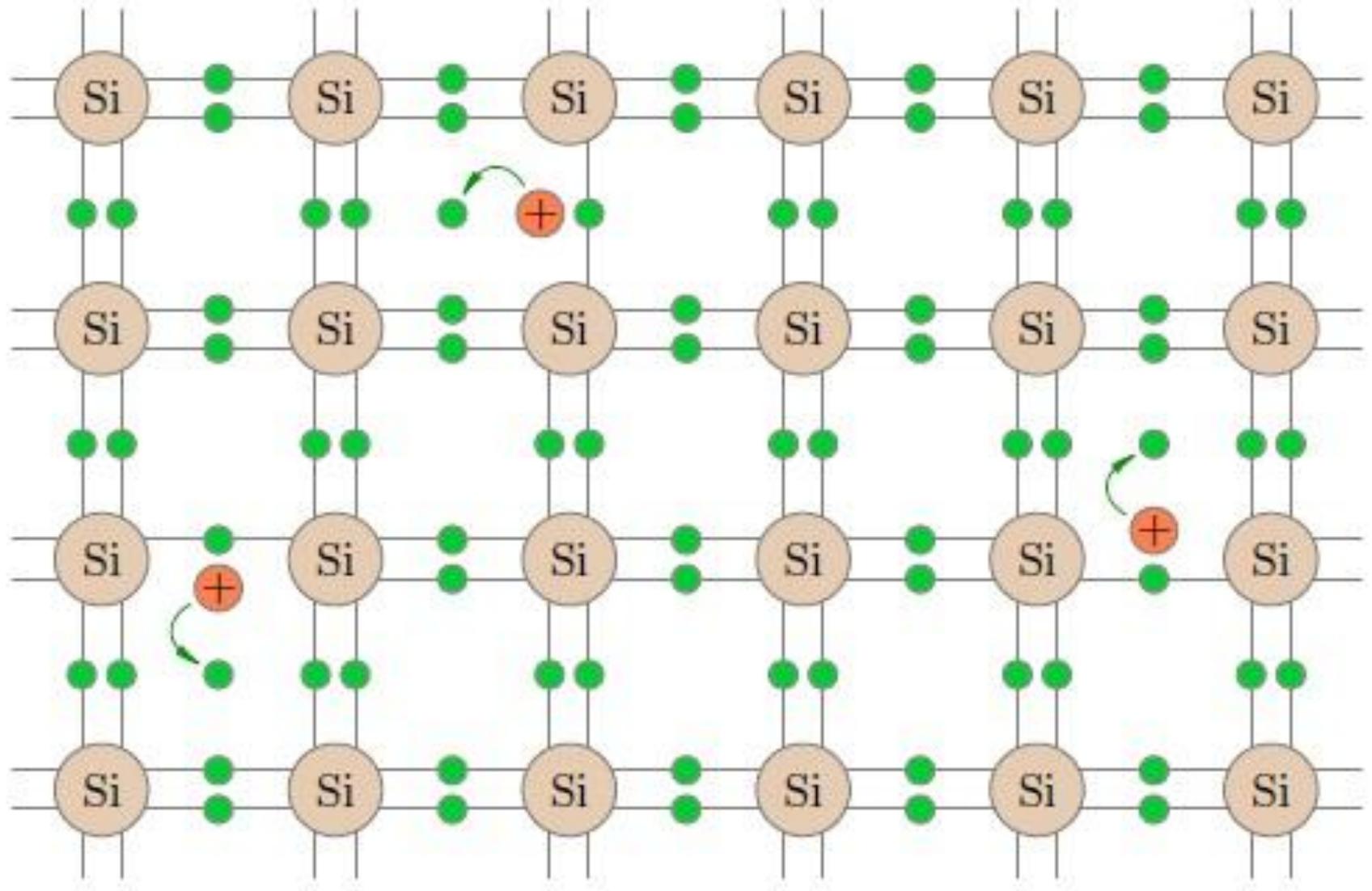
# Собственная проводимость

При повышении температуры тепловые колебания атомов кремния становятся интенсивнее, и энергия валентных электронов возрастает. У некоторых электронов энергия достигает значений, достаточных для разрыва ковалентных связей.



Такие электроны покидают свои атомы и становятся *свободными* (или *электронами проводимости*) — точно так же, как в металле. Во внешнем электрическом поле свободные электроны начинают упорядоченное движение, образуя электрический ток.

Разрыв ковалентных связей и появление свободных электронов показан на рис. 5. На месте разорванной ковалентной связи образуется *дырка* — вакантное место для электрона. Дырка имеет *положительный* заряд. Дырки не остаются на месте — они могут блуждать по кристаллу.



На рис. 6 изображён полупроводник, помещённый в электрическое поле  $\vec{E}$ . В левой части рисунка — начальное положение дырки.

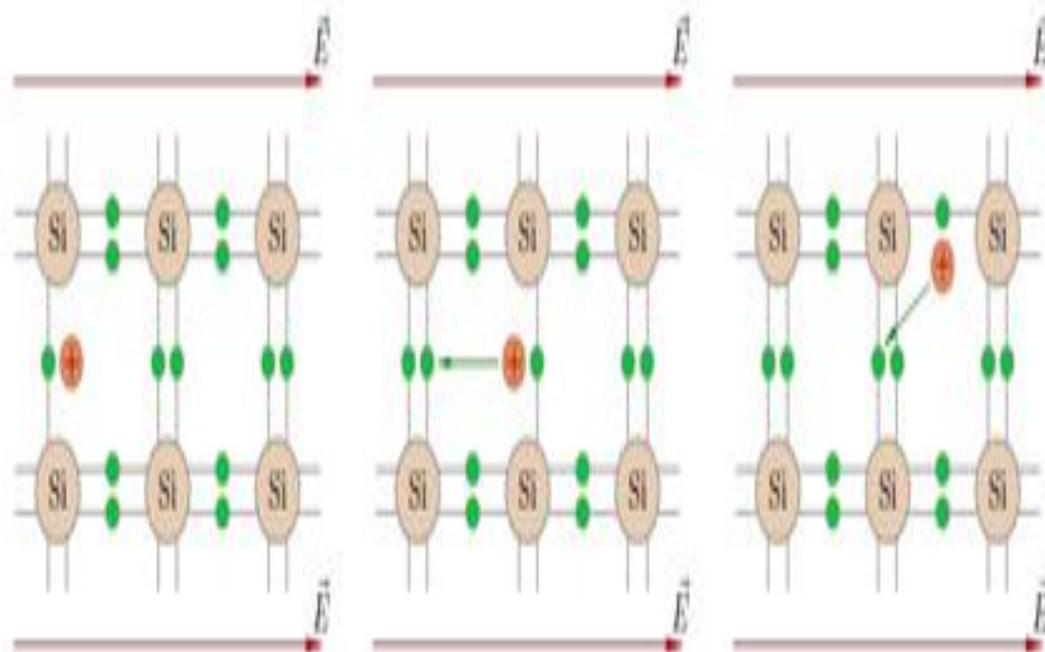


Рис. 6. Движение дырки в электрическом поле

Возникновение тока за счёт движения свободных электронов называется *электронной проводимостью*. Процесс упорядоченного перемещения дырок называется *дырочной проводимостью*.

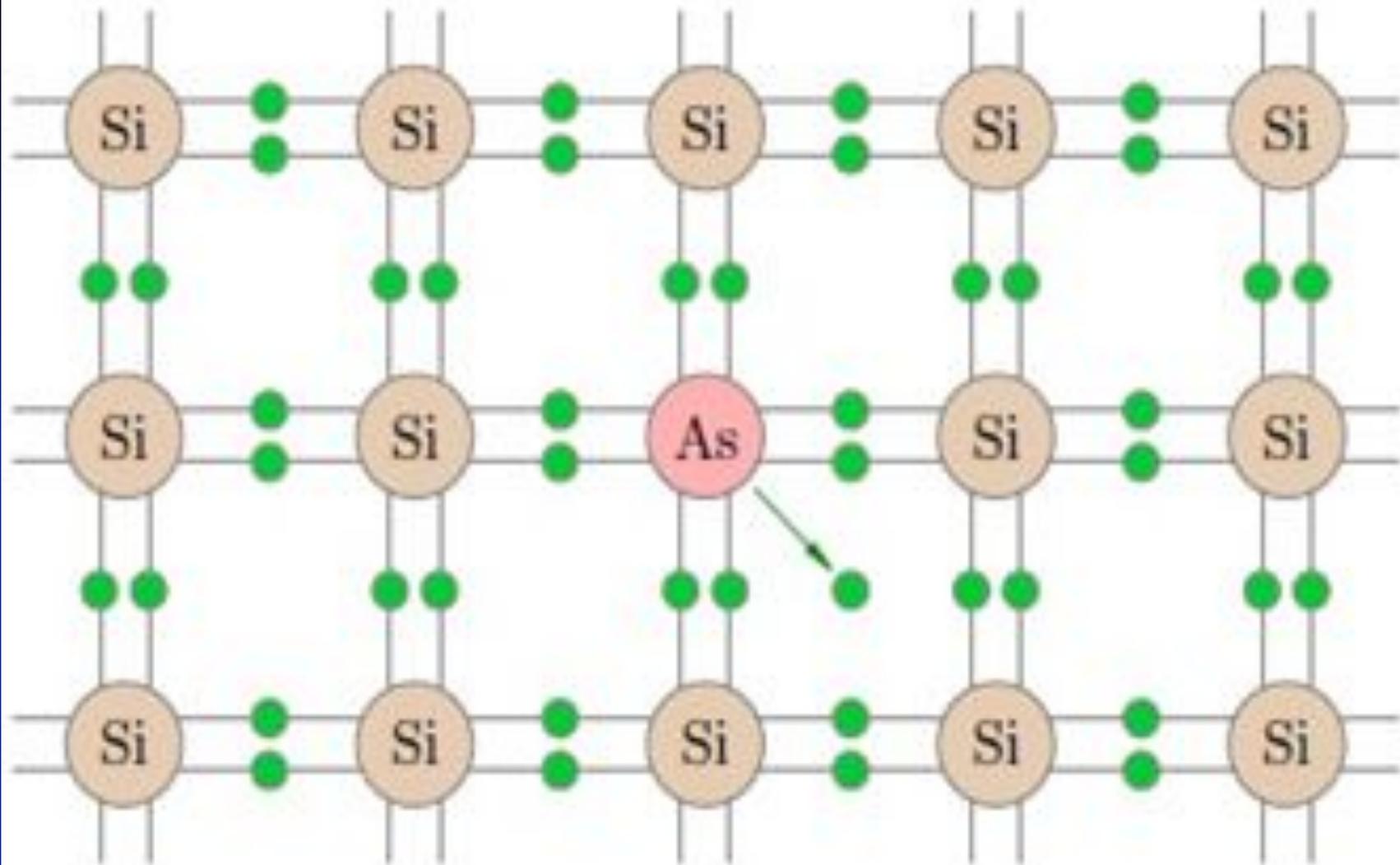
Обе проводимости — электронная и дырочная — вместе называются *собственной проводимостью* полупроводника.

# Примесная проводимость

Помимо собственной  
проводимости у полупроводника  
возникает доминирующая  
**примесная проводимость.**

Именно благодаря этому факту  
полупроводниковые приборы  
нашли столь широкое  
применение в науке и технике.

Предположим, например, что в расплав кремния добавлено немного пятивалентного мышьяка (As). После кристаллизации расплава оказывается, что атомы мышьяка занимают места в некоторых узлах сформировавшейся кристаллической решётки кремния.



**Рис. 7. Полупроводник n-типа**

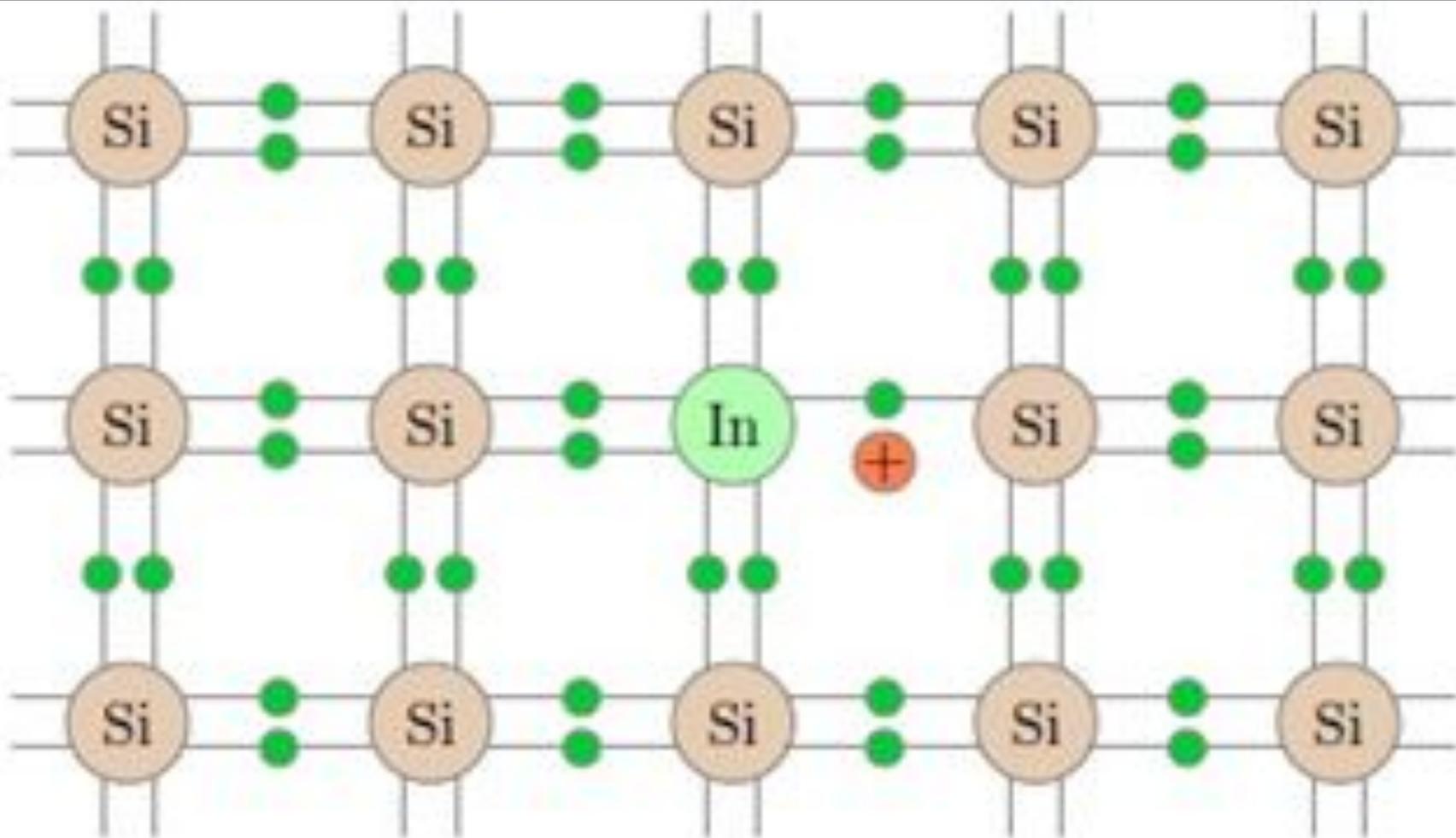
На внешнем электронном уровне атома мышьяка имеется пять электронов. Четыре из них образуют ковалентные связи с ближайшими соседями — атомами кремния (рис. 7). А пятый электрон становится свободным!

*Внедрение атомов пентавалентного мышьяка в кристаллическую решётку кремния создаёт электронную проводимость, но не приводит к симметричному появлению дырочной проводимости.*

*Главная роль в создании тока теперь принадлежит свободным электронам, которые в данном случае называются основными носителями заряда.*

Примеси, атомы которых отдают свободные электроны без появления равного количества подвижных дырок, называются *донорными*. Например, пятивалентный мышьяк — донорная примесь. Поэтому полупроводники с донорными примесями называются *электронными полупроводниками*, или *полупроводниками n-типа* (от латинского слова *negativus* - отрицательный).

Можно, наоборот, создать полупроводник с преобладанием дырочной проводимости. Так получится, если в кристалл кремния внедрить трёхвалентную примесь — например, индий (In). Результат такого внедрения показан на рис. 8.



**Рис. 8. Полупроводник p-типа**

На внешнем электронном уровне атома индия расположены 3 электрона, которые формируют ковалентные связи с тремя окружающими атомами кремния. Для 4-го соседнего атома кремния у атома индия уже не хватает электрона, и в этом месте возникает дырка.

Каждый примесный атом индия порождает дырку, но не приводит к симметричному появлению свободного электрона. Такие примеси называются *акцепторными*. Трёхвалентный индий — пример акцепторной примеси.

Полупроводник с  
акцепторной примесью —  
это дырочный полупроводник, или  
полупроводник p-типа (от  
первой буквы латинского  
слова *positivus*  
(положительный)).

# 3. ПОНЯТИЕ P-N-ПЕРЕХОДА

Место контакта двух полупроводников с различными типами проводимости (электронной и дырочной) называется *электронно-дырочным переходом*, или *p-n-переходом*. В области p-n-перехода возникает интересное и очень важное явление — односторонняя проводимость.

На рис. 9 изображён контакт областей р- и n-типа. Цветные кружочки — это дырки и свободные электроны, которые являются основными (или неосновными) носителями заряда в соответствующих областях.

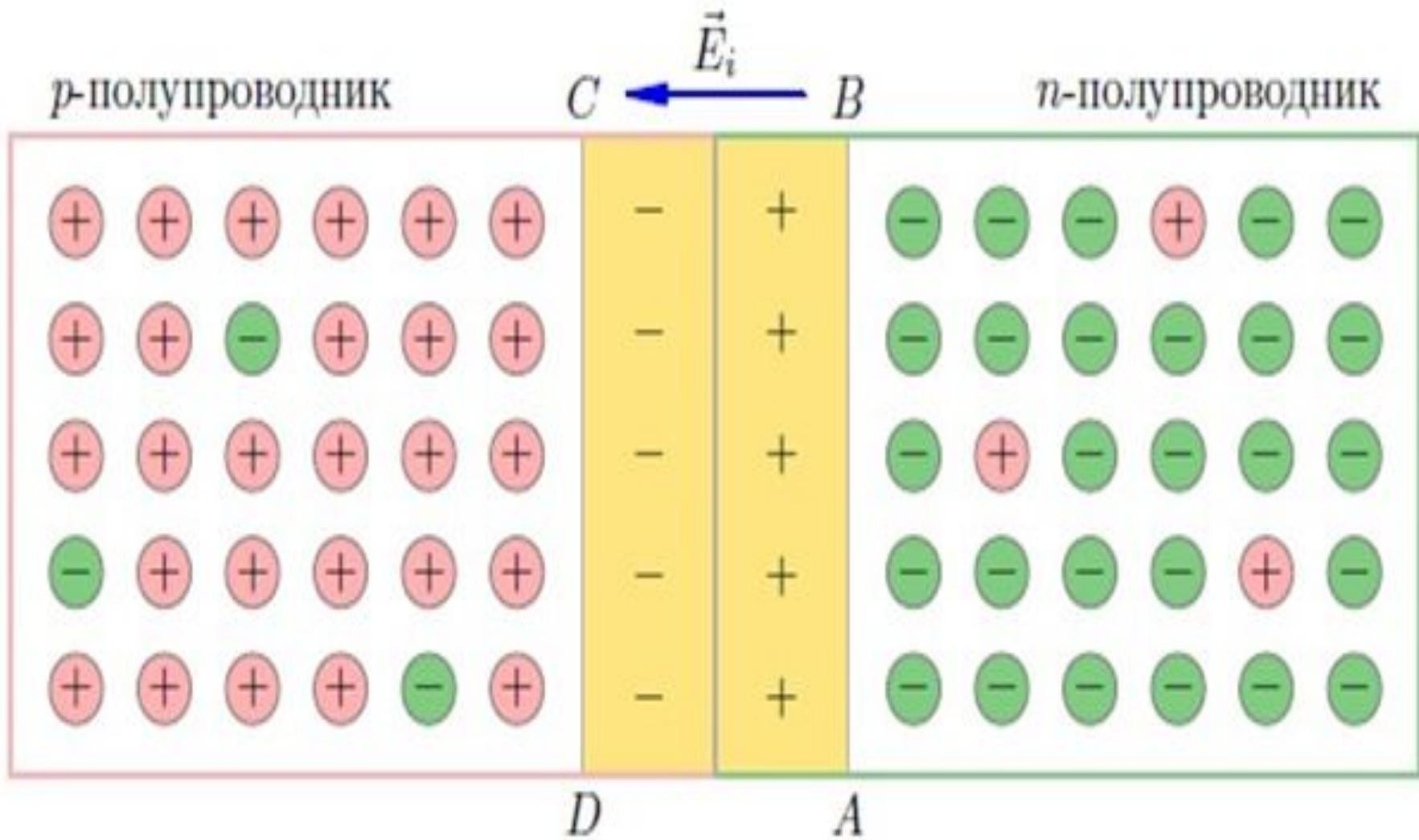
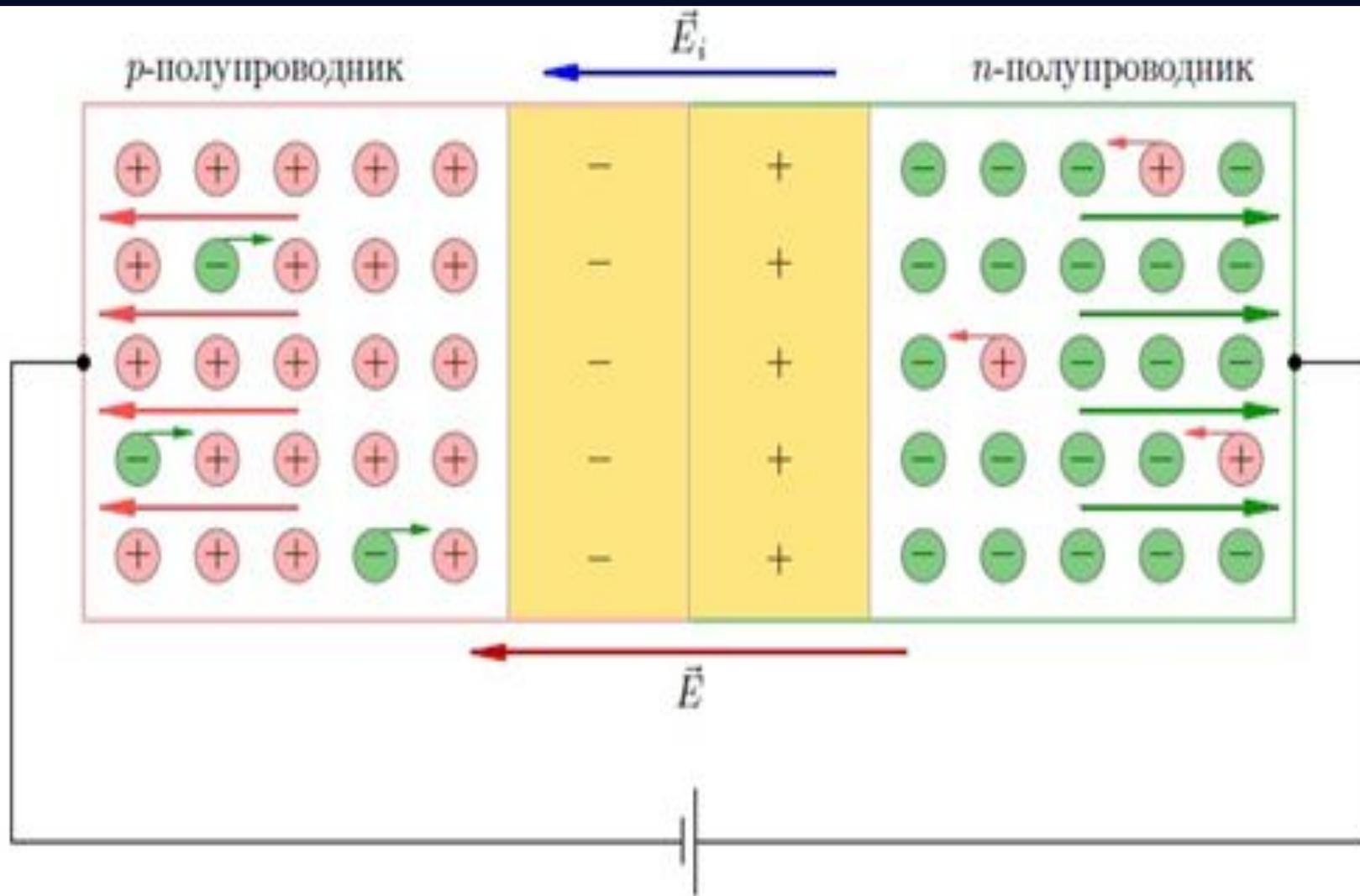


Рис. 9. Запирающий слой р-п-перехода

В результате движения зарядов в электронном п/п около границы контакта остаётся нескомпенсированный заряд положительных ионов донорной примеси, а в дырочном п/п возникает нескомпенсированный отрицательный заряд ионов акцепторной примеси.

Эти нескомпенсированные объёмные заряды образуют так называемый *запирающий слой* ABCD, внутреннее электрическое поле которого препятствует дальнейшей диффузии свободных электронов и дырок через границу контакта.

Подключим теперь к нашему полупроводниковому элементу источник тока, подав «плюс» источника на  $n$ -полупроводник, а «минус» — на  $p$ -полупроводник (рис. 10).



**Рис. 10. Включение в обратном направлении: тока нет**

Рассмотренная схема называется включением *p-n-перехода в обратном направлении*. Электрического тока основных носителей нет. В данном случае *p-n-переход* оказывается закрытым.

Теперь поменяем полярность  
подключения и подадим  
«плюс» на p-полупроводник, а  
«минус» — на n-  
полупроводник (рис. 11). Эта  
схема называется *включением в  
прямом направлении.*

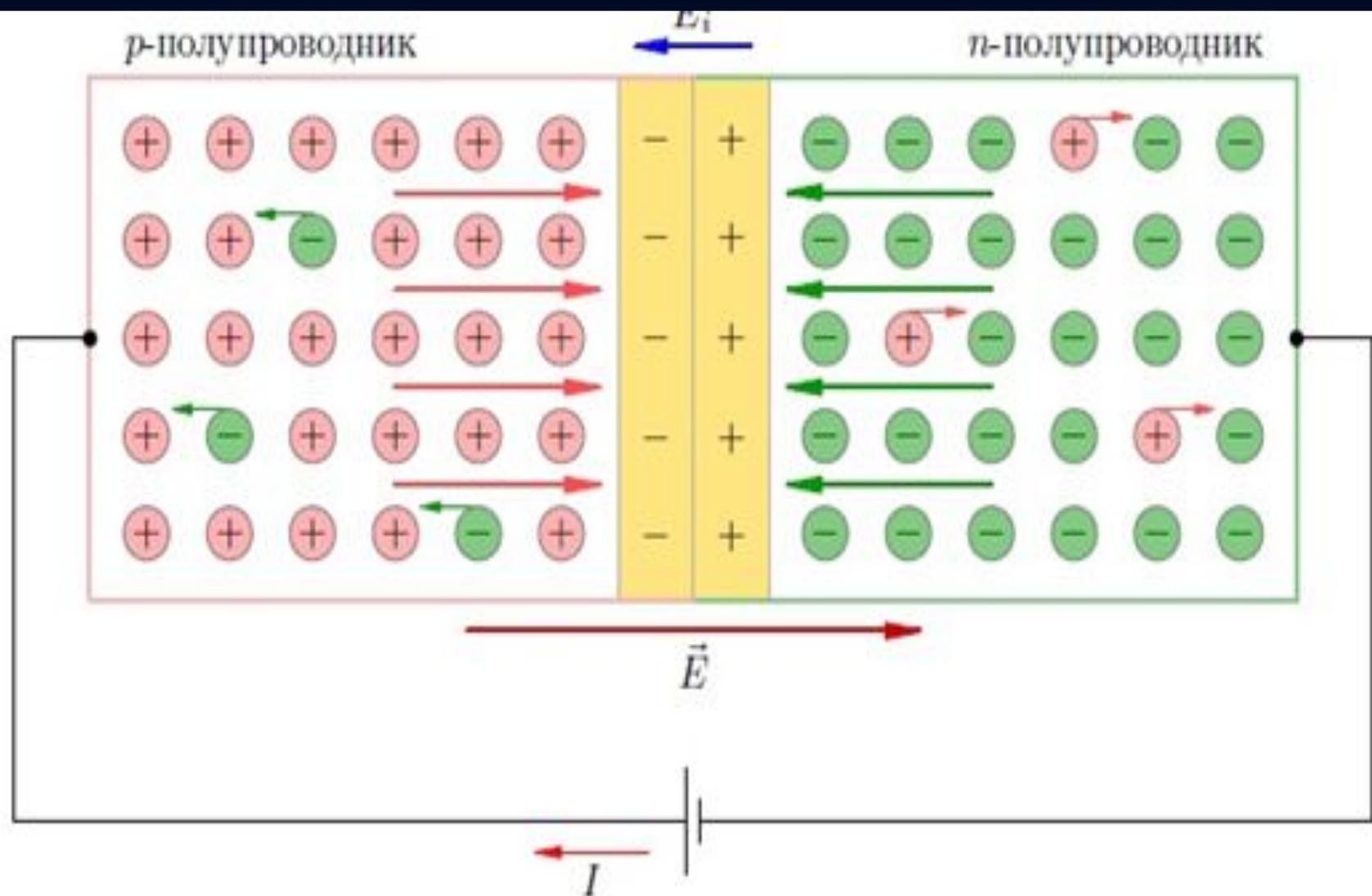


Рис. 11. Включение в прямом направлении: ток идёт





# Вентильное свойство р-n-перехода

р-n-переход, обладает свойством изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от направления протекающего через него тока.

Это свойство называется  
*вентильным*, а прибор,  
обладающий таким  
свойством, называется  
*электрическим вентилем*.

Введение носителей заряда  
через р-n-переход при  
понижении высоты  
потенциального барьера в  
область полупроводника, где  
эти носители являются  
неосновными, называют  
*инжекцией носителей заряда.*

При протекании прямого  
тока из дырочной  
области  $p$  в электронную  
область  $n$  инжектируются  
дырки, а из электронной  
области в дырочную –  
электроны.

Инжектирующий слой с относительно малым удельным сопротивлением называют *эммитером*, а слой, в который происходит инжекция неосновных для него носителей заряда называется *базой*.

Процесс переброса неосновных носителей заряда называется *экстракцией*. Этот ток имеет дрейфовую природу и называется *обратным током р-п-перехода*.

# ВЫВОДЫ:

1. p-n-переход образуется на границе p- и n-областей, созданных в монокристалле полупроводника.

2. В результате диффузии в p-n-переходе возникает электрическое поле - потенциальный барьер, препятствующий выравниванию концентраций основных носителей заряда в соседних областях.

3. При отсутствии внешнего напряжения  $U_{ВН}$  в р-п-переходе устанавливается динамическое равновесие: диффузионный ток становится равным по величине дрейфовому току, образованному неосновными носителями заряда, в результате чего ток через р-п-переход становится равным нулю.

4. При прямом смещении р-n-перехода потенциальный барьер понижается и через переход протекает относительно большой диффузионный ток.

5. При обратном смещении р-n-перехода потенциальный барьер повышается, диффузионный ток уменьшается до нуля и через переход протекает малый по величине дрейфовый ток.

## 6. Ширина р-n-перехода

зависит:

- от концентраций примеси в  $p$ - и  $n$ -областях,
- от знака и величины приложенного внешнего напряжения  $U_{вн}$ .

При увеличении концентрации примесей ширина *p-n-перехода* уменьшается и наоборот. С увеличением прямого напряжения ширина *p-n-перехода* уменьшается. При увеличении обратного напряжения ширина *p-n-перехода* увеличивается.

p-n-переход обладает  
односторонней  
проводимостью. Данное  
свойство широко  
используется для  
выпрямления переменных  
токов.

# Вольтамперная характеристика р-п-перехода

*Вольтамперная  
характеристика р-n-  
перехода* - ЭТО

ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА ЧЕРЕЗ  
р-n-переход ОТ ВЕЛИЧИНЫ  
ПРИЛОЖЕННОГО К НЕМУ  
НАПРЯЖЕНИЯ.

$E_e$  рассчитывают исходя из предположения, что электрическое поле вне обедненного слоя отсутствует, т.е. все напряжение приложено к р-n-переходу. Общий ток через р-n-переход определяется суммой 4-х слагаемых:

$$I_{p-n} = I_{n \text{ диф}} + I_{p \text{ диф}} - I_{n \text{ др}} - I_{p \text{ др}},$$

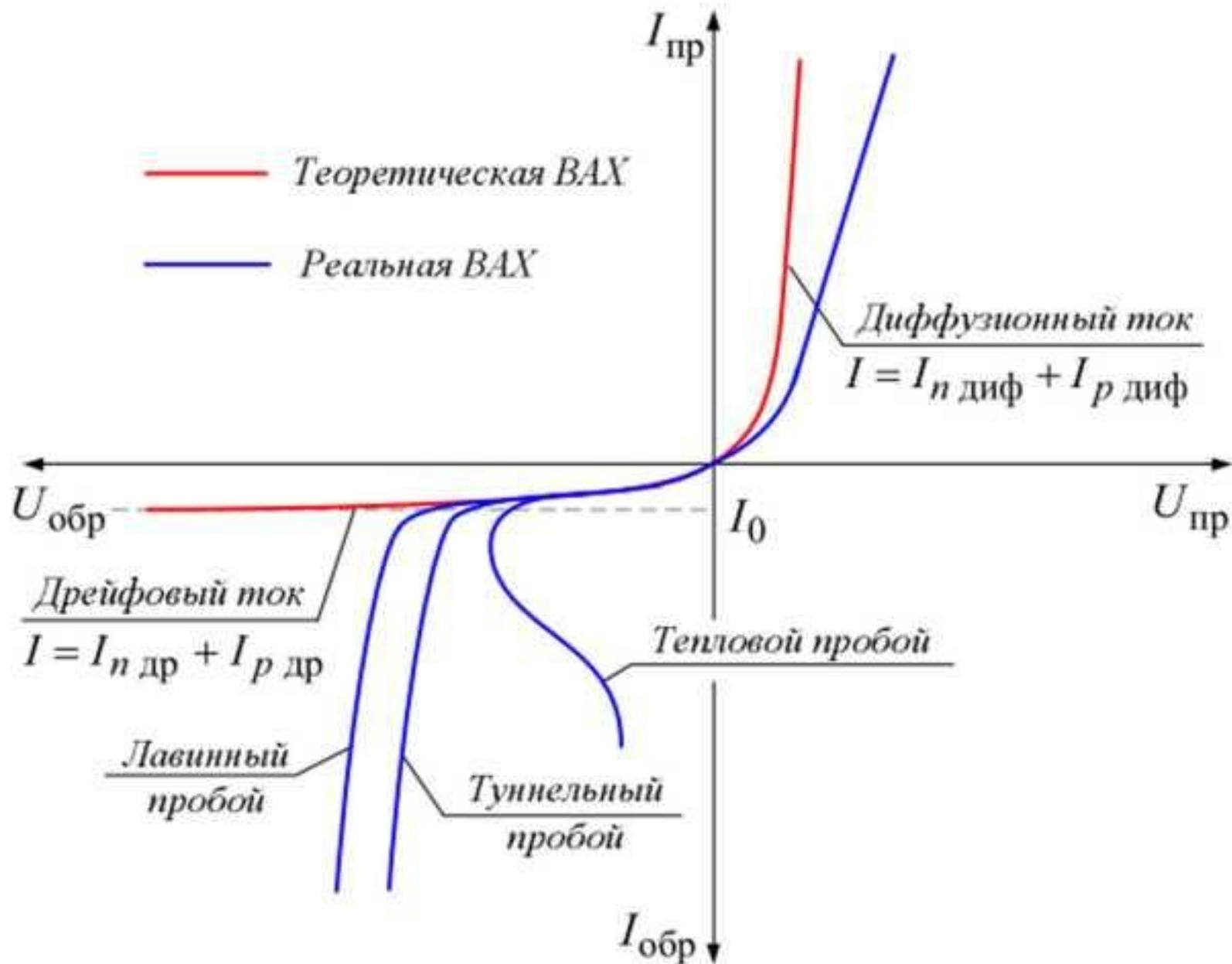
где  $I_{n \text{ др}} = qn_{p_0} v_{n \text{ др}}$  – электронный ток дрейфа;  $I_{p \text{ др}} = qp_{n_0} v_{p \text{ др}}$  – дырочный ток дрейфа;

$I_{n \text{ диф}} = qn_p v_{n \text{ диф}} = qv_{n \text{ диф}} n_{p_0} e^{\frac{qU_{\text{ВН}}}{kT}}$  – электронный ток диффузии;  $I_{p \text{ диф}} = qp_n v_{p \text{ диф}} =$

$= qv_{p \text{ диф}} p_{n_0} e^{\frac{qU_{\text{ВН}}}{kT}}$  – дырочный ток диффузии;  $n_p = n_{p_0} e^{\frac{qU_{\text{ВН}}}{kT}}$  – концентрация электронов, инжекти-

рованных в  $p$ -область;  $p_n = p_{n_0} e^{\frac{qU_{\text{ВН}}}{kT}}$  – концентрация дырок, инжектированных в  $n$ -область.

Вид этой зависимости  
представлен на рис. 1.19.  
Первый квадрант  
соответствует участку прямой  
ветви вольтамперной  
характеристики, а третий  
квадрант - обратной ветви.



**Рис. 1.19.** Вольт-амперная характеристика  $p$ - $n$ -перехода

При увеличении прямого напряжения ток  $p$ - $n$ -перехода в прямом направлении вначале возрастает относительно медленно, а затем начинается участок быстрого нарастания прямого тока, что приводит к дополнительному нагреванию полупроводниковой структуры.

Если количество выделяемого при этом тепла будет превышать количество тепла, отводимого от полупроводникового кристалла либо естественным путем, либо с помощью специальных устройств охлаждения, то могут произойти в полупроводниковой структуре необратимые изменения вплоть до разрушения кристаллической решетки.

Поэтому прямой ток р-п-перехода необходимо ограничивать на безопасном уровне, исключая перегрев полупроводниковой структуры. Для этого необходимо использовать ограничительное сопротивление последовательно подключенное с р-п-переходом.

При увеличении обратного напряжения, приложенного к р-n-переходу, обратный ток изменяется незначительно, так как дрейфовая составляющая тока, являющаяся преобладающей при обратном включении, зависит в основном от температуры кристалла.

Увеличение обратного напряжения приводит лишь к увеличению скорости дрейфа неосновных носителей без изменения их количества. Такое положение будет сохраняться до величины обратного напряжения, при котором начинается интенсивный рост обратного тока - так называемый *пробой p-n-перехода*.

# Лекция 2.

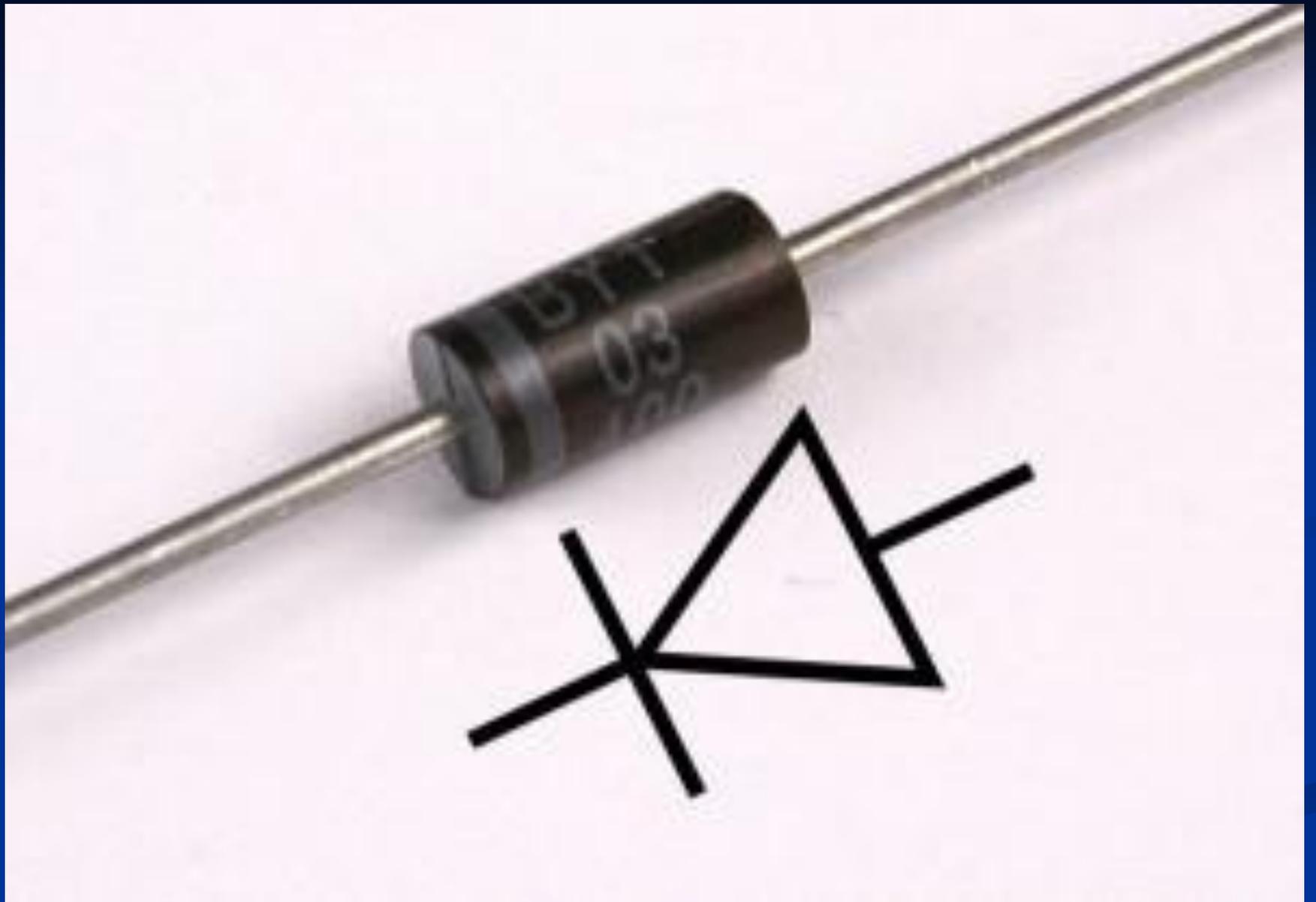
# Полупроводниковые приборы

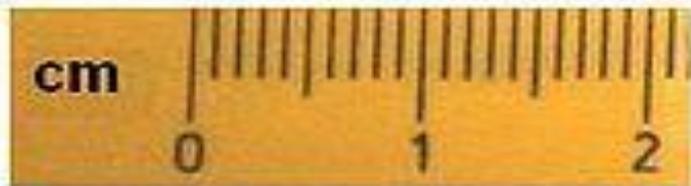
# Вопросы:

- 1) Полупроводниковый диод
- 2) Биполярный транзистор
- 3) Полевой транзистор

# 1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

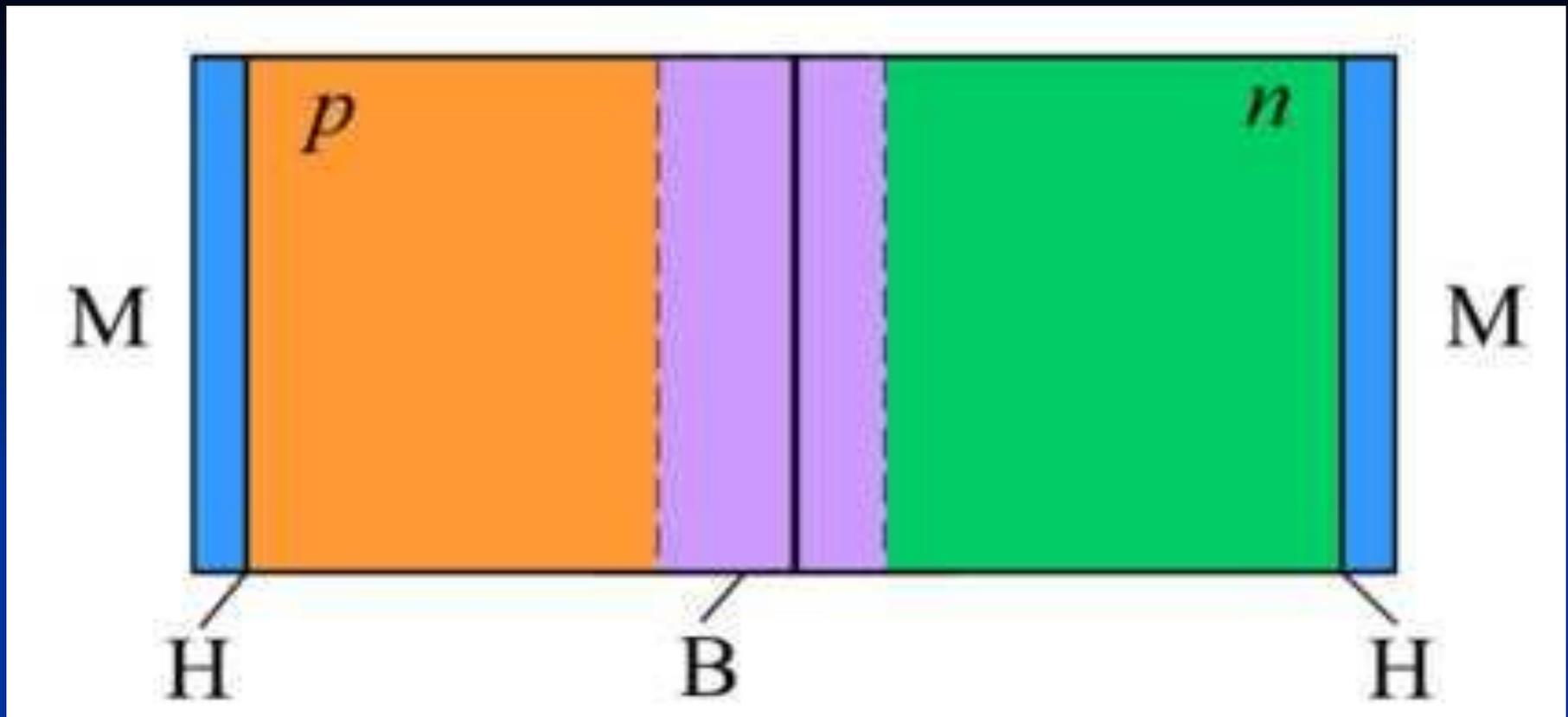
**Полупроводниковый диод** - это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом и двумя выводами, в котором используется то или иное свойство выпрямляющего электрического перехода.





В полупроводниковом диоде  
выпрямляющим электрическим  
переходом может быть  
электронно-дырочный (p-n)  
переход, либо контакт «металл -  
полупроводник», обладающий  
вентильным свойством, либо  
гетеропереход.

В зависимости от типа перехода полупроводниковые диоды имеют следующие структуры (рис. 2.1): с р-n-переходом или гетеропереходом, в такой структуре кроме выпрямляющего перехода, должно быть два омических перехода, через которые соединяются выводы диода;



Структуры полупроводникового диода с выпрямляющим р-n-переходом. **Н** - невыпрямляющий электрический (омический) переход; **В** - выпрямляющий электрический переход; **М** - металл

Полупроводниковые диоды (ПД) с р-n-переходами делают несимметричными, т. е. концентрация примесей в одной из областей значительно больше, чем в другой.

Поэтому количество неосновных носителей, инжектируемых из сильно легированной (низкоомной) области, называемой *эммиттером диода*, в слабо легированную (высокоомную) область, называемую *базой диода*, значительно больше, чем в противоположном направлении.

# Классификация ПД по

признакам:

1. по типу полупроводникового материала - кремниевые, германиевые, из арсенида галлия;
2. по назначению - выпрямительные, импульсные, стабилизаторы, варикапы и др.;

3. по технологии изготовления  
электронно-дырочного  
перехода - сплавные,  
диффузионные и др.;

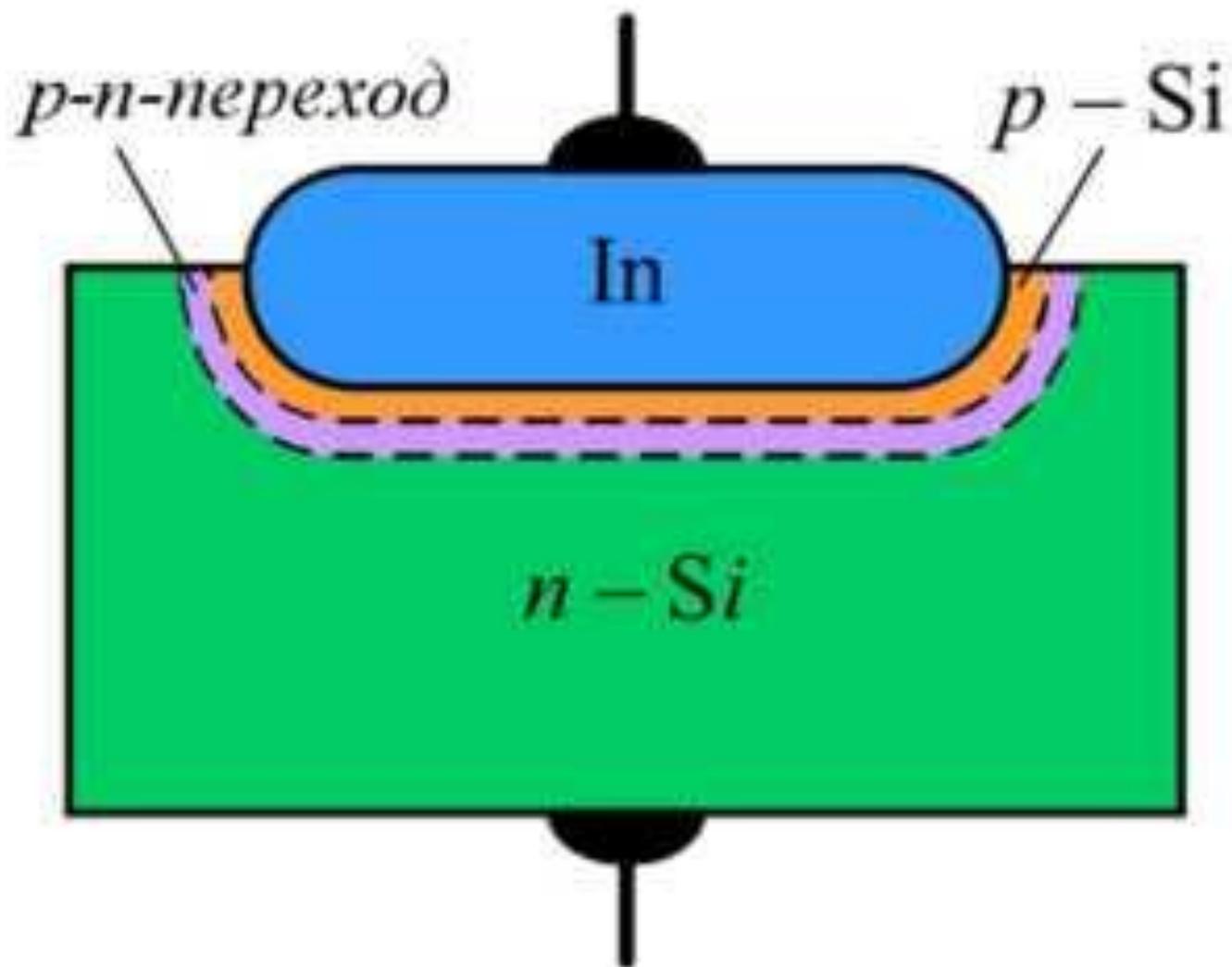
4. по типу электронно-  
дырочного перехода -  
точечные и плоскостные.

Основными  
классификационными признаками  
являются **тип электрического**  
**перехода** и **назначение** диода.

В зависимости от геометрических  
размеров **p-n-перехода** диоды  
подразделяют на **плоскостные** и  
**точечные**.

*Плоскостными* называют диоды, у которых размеры, определяющие площадь  $p$ - $n$ -перехода, значительно больше его ширины. У таких диодов площадь  $p$ - $n$ -перехода может составлять от долей квадратного миллиметра до десятков квадратных сантиметров.

Плоскостные диоды (рис. 2.2) изготавливают методом сплавления или методом диффузии.



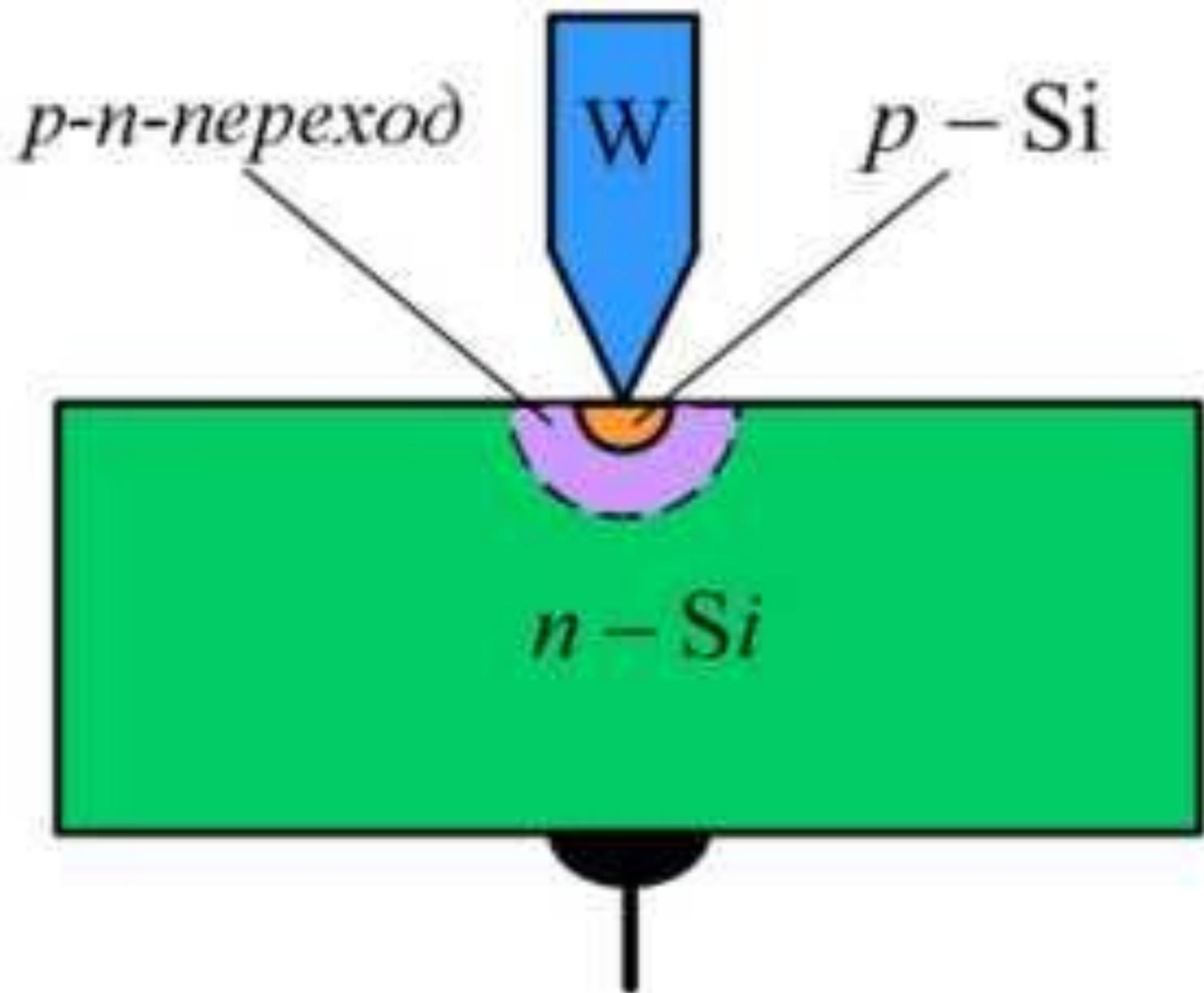
**Рис. 2.2.** Структура плоскостного диода, изготовленного методом сплавления

Плоскостные диоды имеют большую величину барьерной емкости (до десятков пикофарад), что ограничивает их предельную частоту до 10 кГц.

Промышленностью выпускаются плоскостные диоды в широком диапазоне токов (до 1000 ампер) и напряжений (до 1000 вольт), что позволяет их использовать как в установках малой мощности, так и в установках средней и большой мощности.

**Точечные диоды** имеют очень малую площадь  $p-n$ -перехода, причем линейные размеры ее меньше толщины  $p-n$ -перехода.

Точечные  $p-n$ -переходы (рис. 2.3) образуются в месте контакта монокристалла полупроводника и острия металлической проволоочки — пружинки.



**Рис. 2.3.** Структура точечного диода

Ту сторону диода, к которой при прямом включении подключается отрицательный полюс источника питания, называют *катодом*, а противоположную - *анодом*.

# Выпрямительные диоды

*Выпрямительный диод* - это ПД,  
предназначенный **для**  
преобразования переменного тока  
в постоянный.

Применяются в:

- источниках питания **для**  
выпрямления переменного тока в  
постоянный;

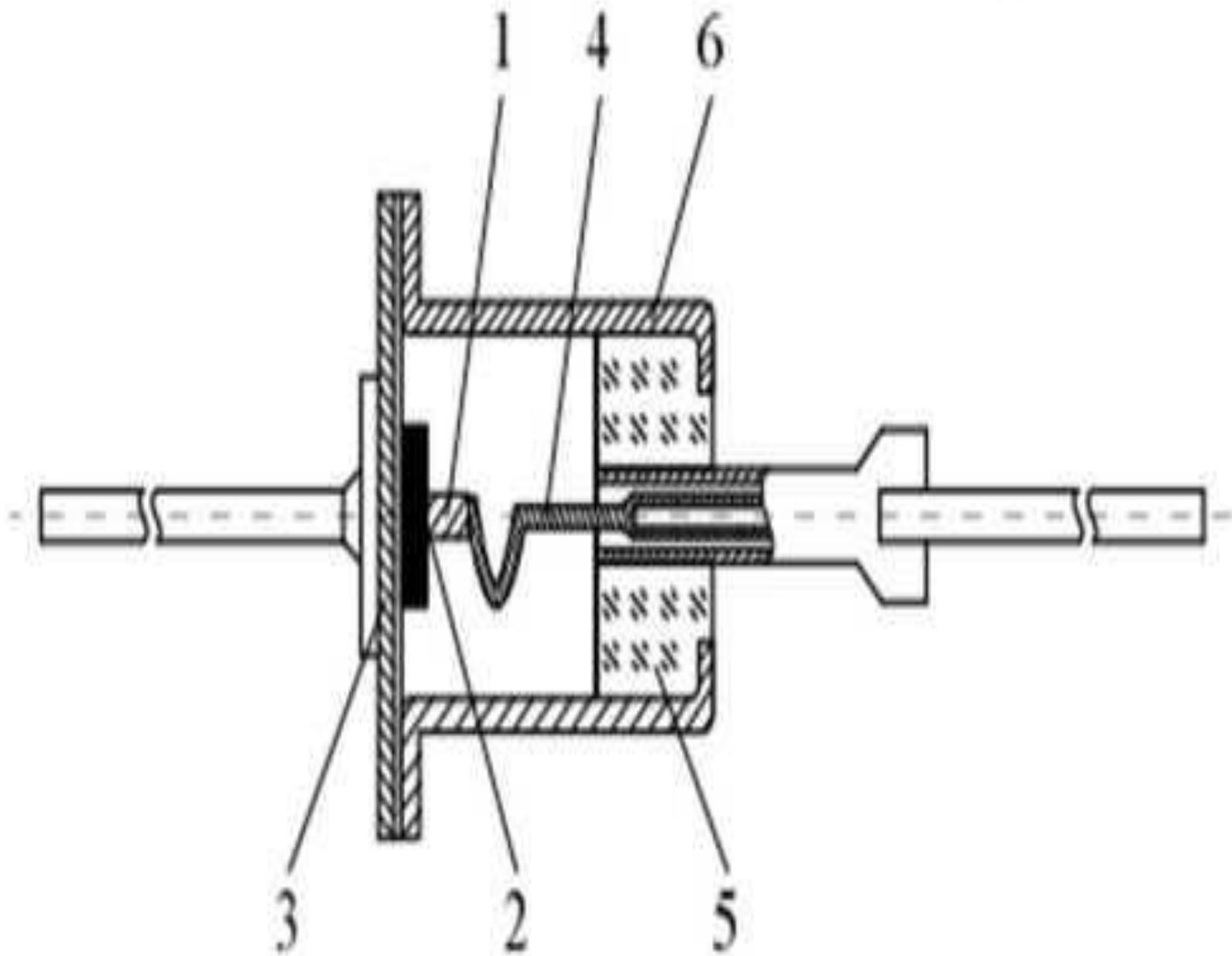
- цепях управления и коммутации;
- ограничительных и развязывающих цепях;
- схемах умножения напряжения;
- преобразователях постоянного напряжения, где не предъявляются высокие требования к частотным и временным параметрам сигналов.

Конструктивно выпрямительные диоды оформляются в металлических, пластмассовых или керамических корпусах в виде дискретных элементов (рис. 2.4, а) либо в виде диодных сборок, к примеру, диодных мостов (рис. 2.4, б) выполненных в едином корпусе.



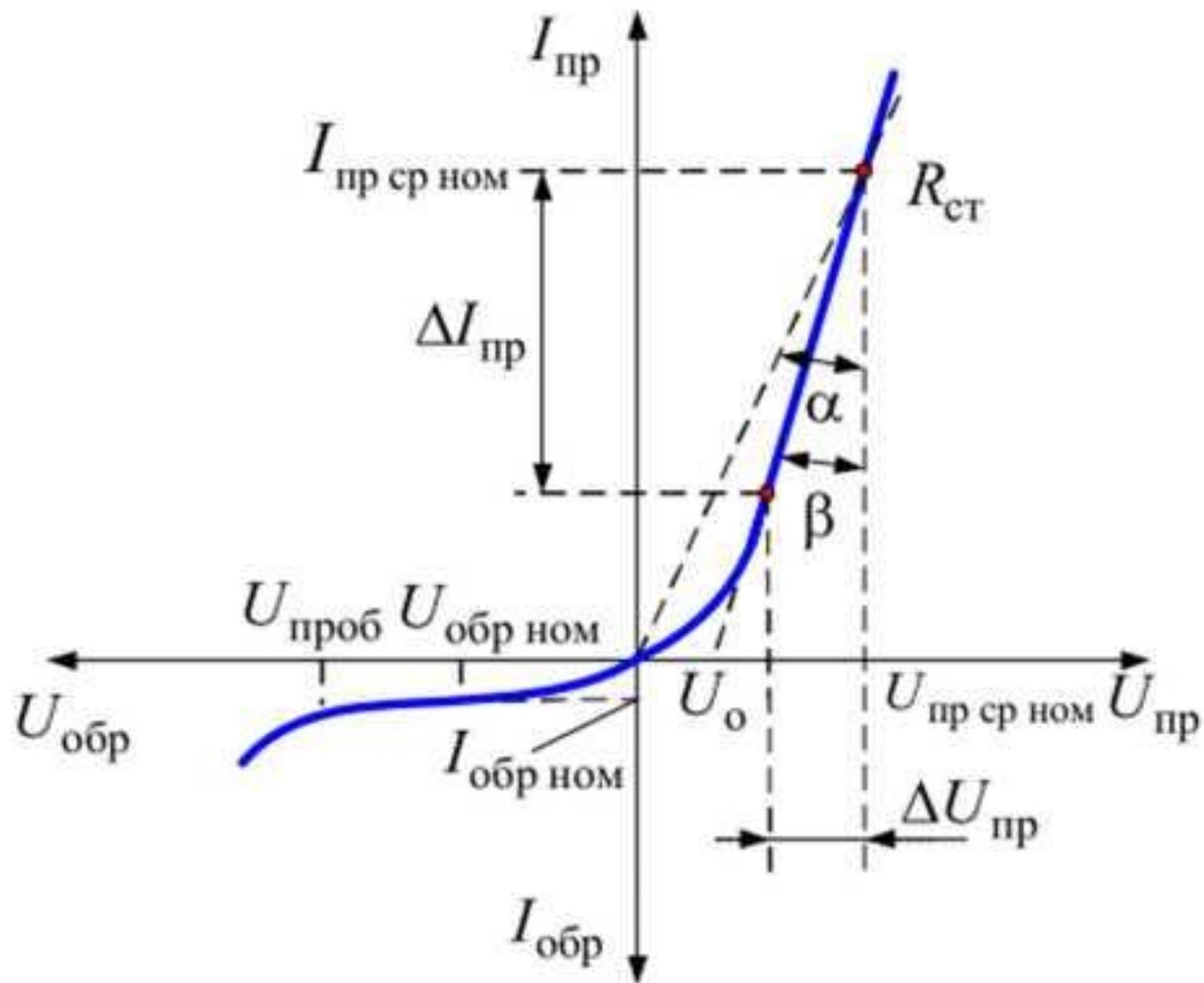
Рис. 2.4  
а) дискретные элементы;  
б) диодные мосты

Конструкция  
выпрямительного  
маломощного диода,  
изготовленного методом  
сплавления показано ниже. В  
качестве полупроводникового  
материала использован  
германий.



- 1 - вплавленный индий;
- 2 – пластина германия n-типа;
- 3 - кристаллодержатель;
- 4 - внутренний вывод;
- 5 - стеклянный проходной изолятор ;
- 6 - коваровый корпус.

**Вольтамперная  
характеристика  
выпрямительного  
диода**



**Рис 2.6.** Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода

По вольтамперной характеристике выпрямительного диода можно определить следующие основные параметры, влияющие на его работу:

### 1. *Номинальный средний прямой ток*

$I_{\text{ср пр ном}}$  – среднее значение тока, проходящего через открытый диод и обеспечивающего допустимый его нагрев при номинальных условиях охлаждения;

2. *Номинальное среднее прямое напряжение*  $U_{\text{ср пр ном}}$  среднее значение прямого напряжения на диоде при протекании номинального среднего прямого тока. Этот параметр является очень важным для обеспечения параллельной работы нескольких диодов в одной электрической цепи;

### 3. *Напряжение отсечки*

$U_0$ , определяемое точкой пересечения линейного участка прямой ветви вольтамперной характеристики с осью напряжений.

**4. Пробивное напряжение**  $U_{\text{проб}}$  - обратное напряжение на диоде, соответствующее началу участка пробоя на вольтамперной характеристике, когда она претерпевает излом в сторону резкого увеличения обратного тока;

5. **Номинальное обратное напряжение**  $U_{\text{обр.ном}}$  рабочее обратное напряжение на диоде. Его значение для отечественных приборов составляет  $0,5U_{\text{проб}}$ . Этот параметр используется для обеспечения последовательного включения нескольких диодов в одну электрическую цепь;

6. *Номинальное значение обратного тока  $I_{\text{обр.ном}}$*  - величина обратного тока диода при приложении к нему номинального обратного напряжения.

7. *Статическое сопротивление диода:*

$$R_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}}} = \text{tg}\alpha,$$

где  $I_{пр}$  - величина  
прямого тока диода;  $U_{пр}$   
- падение напряжения  
на диоде при  
протекании тока  $I_{пр}$ .

С повышением температуры обратный ток у германиевых выпрямительных диодов резко возрастает за счет роста теплового тока.

У кремниевых диодов тепловой ток очень мал, и поэтому они могут работать при более высоких температурах и с меньшим обратным током, чем германиевые диоды.

Кремниевые диоды  
могут работать при  
значительно больших  
обратных напряжениях,  
чем германиевые диоды.

Максимально допустимое  
постоянное обратное  
напряжение у кремниевых  
диодов увеличивается с  
повышением температуры до  
максимального значения, в то  
время как у германиевых диодов  
резко падает.

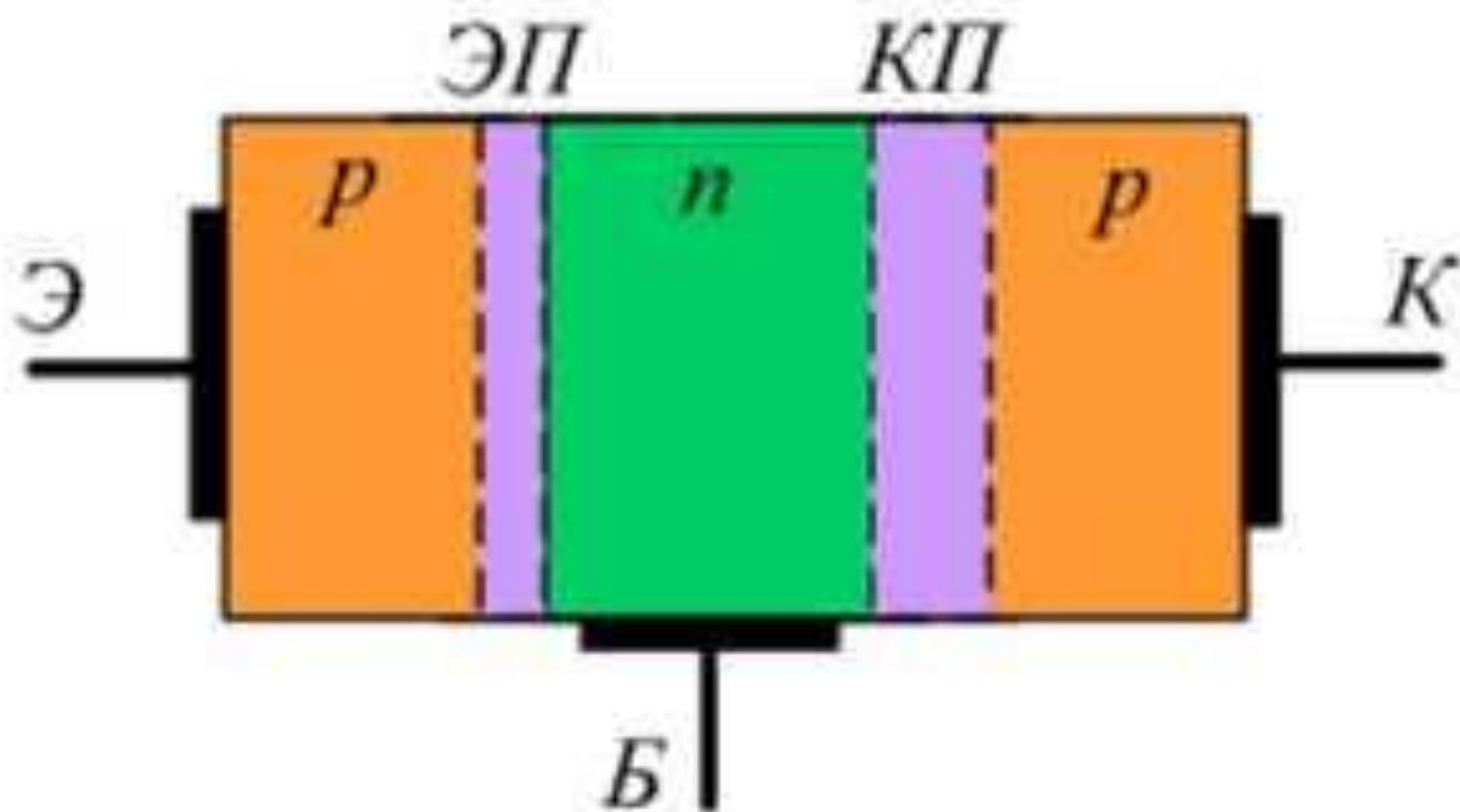
Вследствие указанных преимуществ в настоящее время выпрямительные диоды в основном изготавливают на основе кремния.

# 2. Биполярный транзистор

*Биполярный транзистор (триод)* – это полупроводниковый прибор с двумя или более взаимодействующими выпрямляющими электрическими переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических сигналов.

Транзистор был создан американскими учеными Дж. Бардином, У. Браттейном и У. Шокли в 1948 году. Определение «**биполярный**» указывает на то, что работа транзистора связана с процессами, в которых принимают участие носители заряда, как электроны, так и дырки.

# Структура биполярного транзистора (БТ)



**Рис. 3.1.** Схематическое изображение структуры биполярного транзистора

БТ представляет собой монокристалл полупроводника, в котором созданы три области с чередующимися типами электропроводности. На границах этих областей возникают электронно-дырочные переходы.

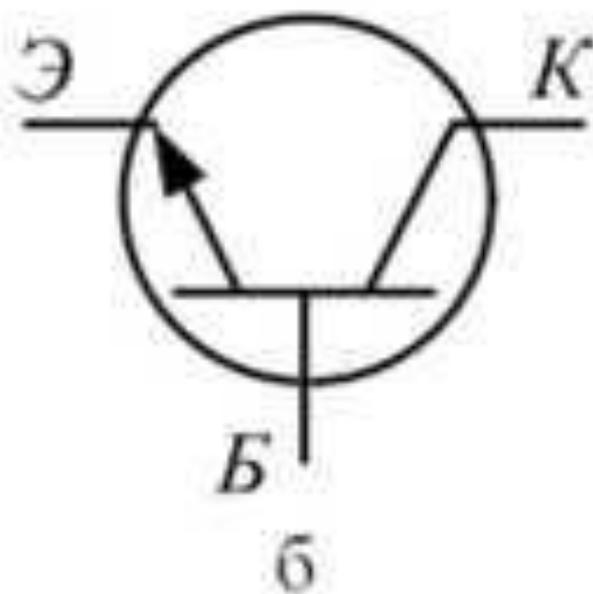
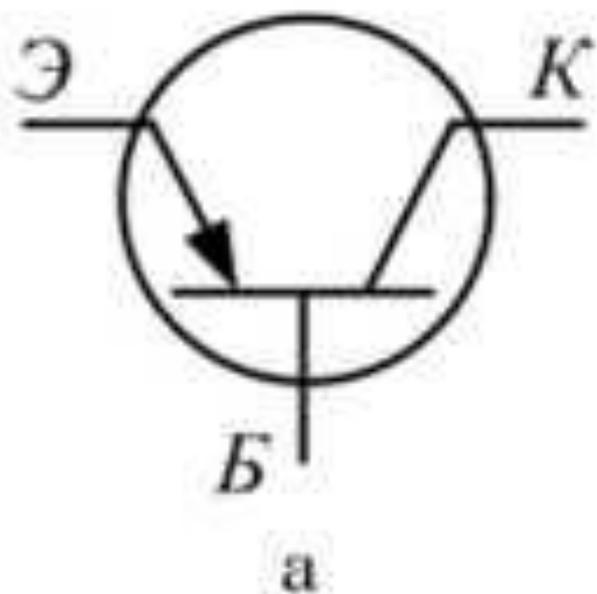
От каждой области полупроводника сделаны **ТОКООТВОДЫ** (омические контакты). Среднюю область транзистора, расположенную между электронно-дырочными переходами, называют **базой** (Б).

Примыкающие к базе области обычно делают неодинаковыми. Одну из областей делают так, чтобы из неё наиболее эффективно проходила инжекция носителей заряда в базу, а другую - так, чтобы р-п-переход между базой и этой областью наилучшим образом собирал инжектированные в базу носители заряда, то есть осуществлял экстракцию носителей заряда из базы.

Область БТ, основным назначением которой является инжекция носителей заряда в базу, называют *эмиттером* (Э), а р-п-переход между базой и эмиттером - *эмиттерным* (ЭП).

Область БТ, основным назначением которой является собирание, экстракция носителей заряда из базы, называют **коллектором** (К), а р-n-переход между базой и коллектором - **коллекторным** (КП).

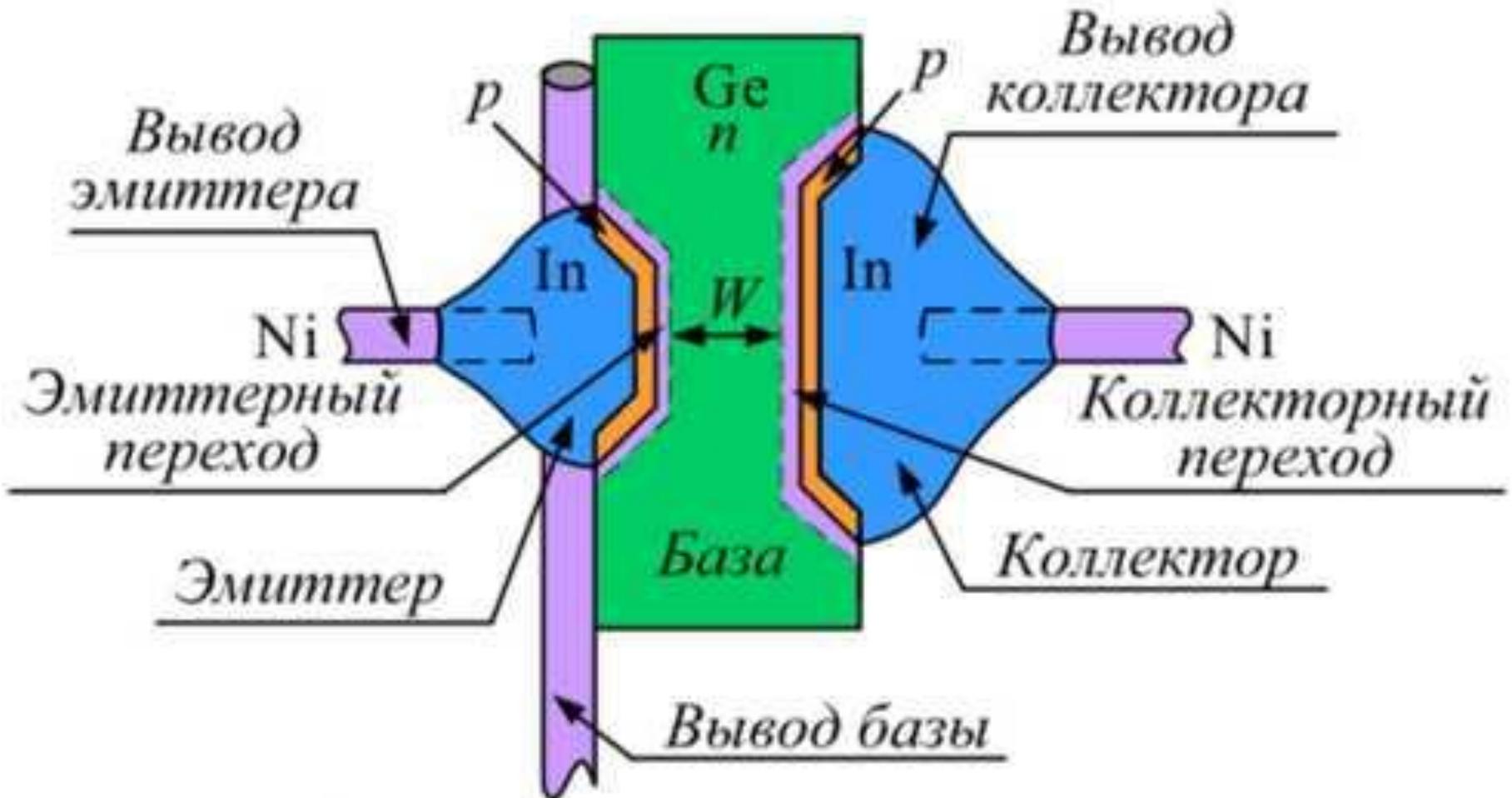
В зависимости от типа электропроводности эмиттера и коллектора различают БТ  $p-n-p$  и  $n-p-n$  типа. В обоих типах БТ физические процессы аналогичны, они различаются только типом инжектируемых и экстрагируемых носителей и имеют одинаково широкое применение.



**Рис. 3.2.** Условные обозначения транзисторов:  
транзистор  $p-n-p$  типа (а); транзистор  $n-p-n$  типа (б)



# Конструктивное оформление БТ



# Режимы работы БТ

При работе БТ к его электродам прикладываются напряжения от внешних источников питания. В зависимости от полярности напряжений, приложенных к электродам БТ, каждый из р-n-переходов может быть смещен в прямом или в обратном направлении, исходя из этого, возможны четыре режима работы транзистора (табл. 3.1).

## Режимы работы биполярного транзистора

Эмиттерный переход	Коллекторный переход	Режим работы транзистора
<i>прямое</i>	<i>обратное</i>	<i>активный (усилительный)</i>
<i>прямое</i>	<i>прямое</i>	<i>насыщения</i>
<i>обратное</i>	<i>обратное</i>	<i>отсечки</i>
<i>обратное</i>	<i>прямое</i>	<i>инверсный</i>

Если на эмиттерном переходе напряжение прямое, и он инжектирует носители в базу, а на коллекторном переходе напряжение обратное, и он собирает носители из базы, то такое включение БТ называют *нормальным*, а БТ работает в *активном (усилительном) режиме*.

В **режиме насыщения** оба р-п-перехода включены в прямом направлении, переходы насыщены подвижными носителями заряда, их сопротивления малы.

В **режиме отсечки** оба р-п-перехода включены в обратном направлении. В электродах БТ протекают тепловые токи обратно включенных переходов.

Если же на коллекторном переходе напряжение прямое, и он инжектирует носители в базу, а на эмиттерном переходе напряжение обратное, и он осуществляет экстракцию носителей из базы, то такое включение транзистора называют *инверсным*, а БТ работает в *инверсном режиме*.

При инверсном включении БТ необходимо учитывать следующие особенности:

1. Поскольку эмиттерный переход по площади меньше, чем коллекторный, то из того количества носителей, которые инжектируются коллекторным переходом, меньшее количество собирается эмиттерным переходом, что снижает величину тока этого перехода.

2. Это приводит к изменению заряда носителей в базе и, следовательно, к изменению барьерной ёмкости переходов, т.е. к изменению частотных свойств транзистора.

3. При меньшей площади эмиттерного перехода необходимо снижать величину его тока, чтобы оставить прежней температуру нагрева полупроводниковой структуры.

При прямом напряжении, приложенном к эмиттерному переходу, потенциальный барьер понижается, и в базу инжектируются носители заряда.

Инжектированные в базу неосновные носители заряда диффундируют в сторону коллекторного перехода.

Вследствие того, что ширина базы БТ мала и концентрация основных носителей заряда в ней низкая, почти все инжектированные в базу неосновные носители заряда достигают коллекторного перехода и перебрасываются полем потенциального барьера в коллектор, образуя управляемый ток коллектора.

Небольшая часть  
инжектированных носителей  
заряда успевает рекомбинировать  
в базе, образуя  
рекомбинированную  
составляющую тока эмиттера,  
которая замыкается через цепь  
базы.

Через цепь базы замыкается также небольшая составляющая тока эмиттера, образованная диффузией неосновных носителей заряда из базы в эмиттер, и обратный ток коллекторного перехода.

# Схемы включения БТ

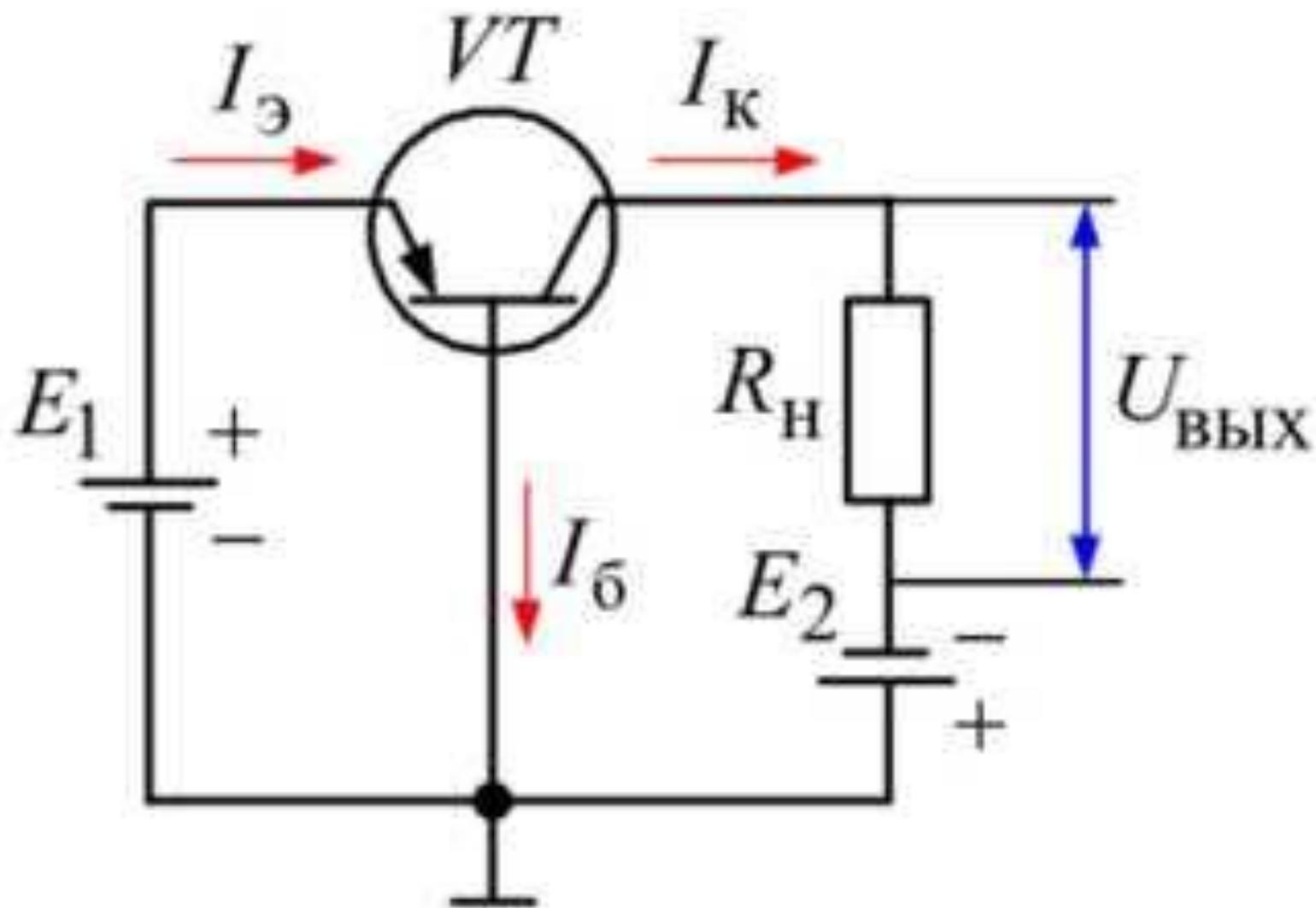
Для усиления  
электрического сигнала в  
цепь транзистора  
необходимо включить  
два источника - входного  
сигнала  $E_1$  и питания  $E_2$ .

Поскольку БТ имеет 3 вывода (эмиттер, база, коллектор), а два источника питания имеют 4 вывода, то обязательно один из выводов транзистора будет общим для обоих источников, т.е. одновременно будет принадлежать и входной цепи и выходной.

По этому признаку различают 3 возможных схемы включения:

*с общей базой, с общим эмиттером и с общим коллектором.*

# Схема с общей базой



**Рис. 3.5.** Включение транзистора по схеме с общей базой

1. Коэффициент усиления по току:

$$k_{I\delta} = \alpha = \frac{I_K}{I_3} \approx 0,95 \div 0,99.$$

2. Входное сопротивление:

$$R_{вх\delta} = \frac{E_1}{I_3}.$$

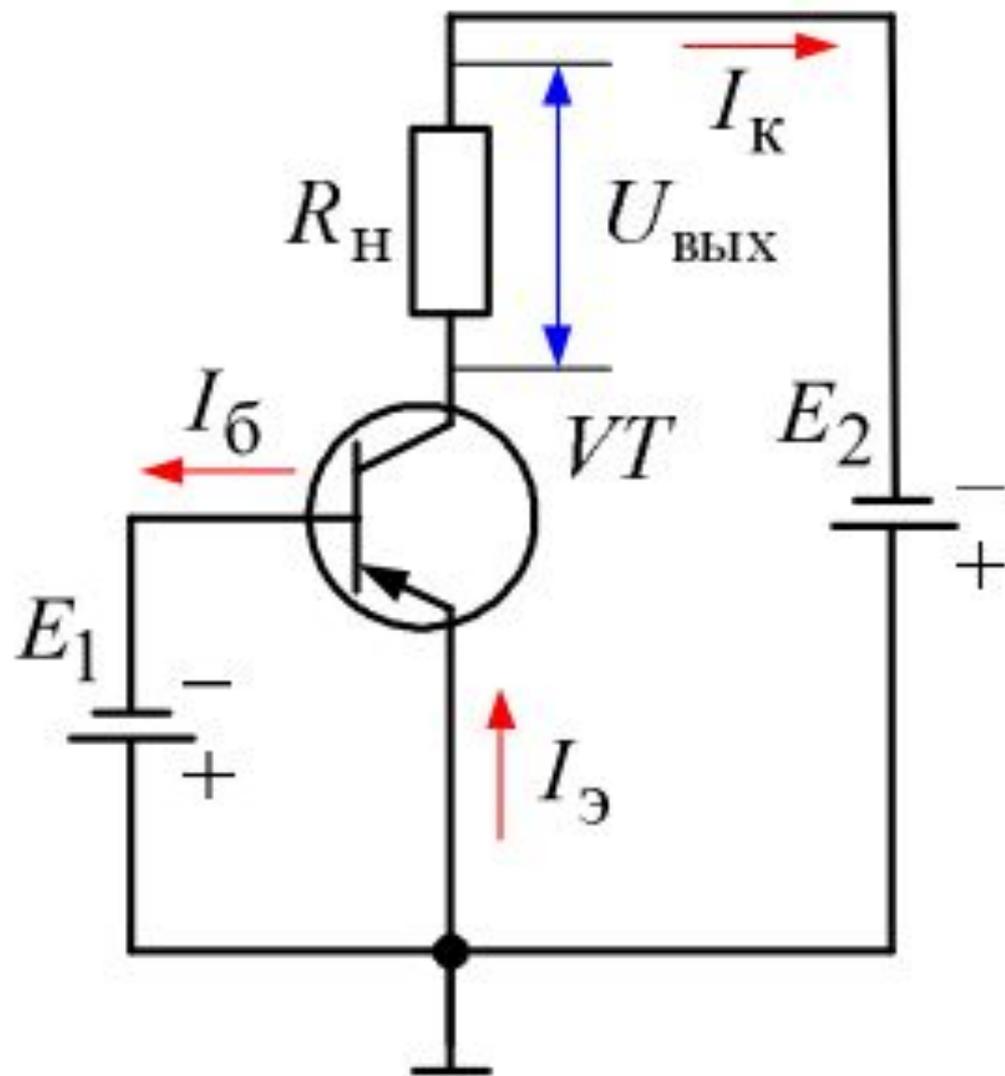
3. Коэффициент усиления по напряжению:

$$k_{U\delta} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{I_K R_H}{E_1} = \frac{I_K R_H}{I_3 R_{вх\delta}} = \alpha \frac{R_H}{R_{вх\delta}}.$$

4. Коэффициент усиления по мощности:

$$k_{P\delta} = K_{I\delta} K_{U\delta} = \alpha^2 \frac{R_H}{R_{вх\delta}}.$$

# Схема с общим эмиттером



**Рис. 3.6.** Включение транзистора по схеме с общим эмиттером

1. Коэффициент усиления по току:

$$k_{I_{\text{Э}}} = \beta = \frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{Б}}} = \frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{Э}} - I_{\text{К}}},$$

поделив в этом выражении числитель и знаменатель дроби на ток эмиттера  $I_{\text{Э}}$ , получим:

$$\beta = \frac{\frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{Э}}}}{\frac{I_{\text{Э}} - I_{\text{К}}}{I_{\text{Э}}}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

2. *Входное сопротивление* транзистора в схеме с общим эмиттером:

$$R_{\text{вх } \text{э}} = \frac{E_1}{I_б} = \frac{E_1}{I_э - I_к},$$

поделив в этом выражении числитель и знаменатель на ток эмиттера  $I_э$ , получим:

$$R_{\text{вх } \text{э}} = \frac{\frac{E_1}{I_э}}{\frac{I_э - I_к}{I_э}} = \frac{R_{\text{вх } б}}{1 - \alpha}.$$

3. Коэффициент усиления по напряжению:

$$k_{U \text{ э}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{К}} R_{\text{Н}}}{E_1} = \frac{I_{\text{К}} R_{\text{Н}}}{I_{\text{Б}} R_{\text{ВХ э}}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{ВХ э}}}.$$

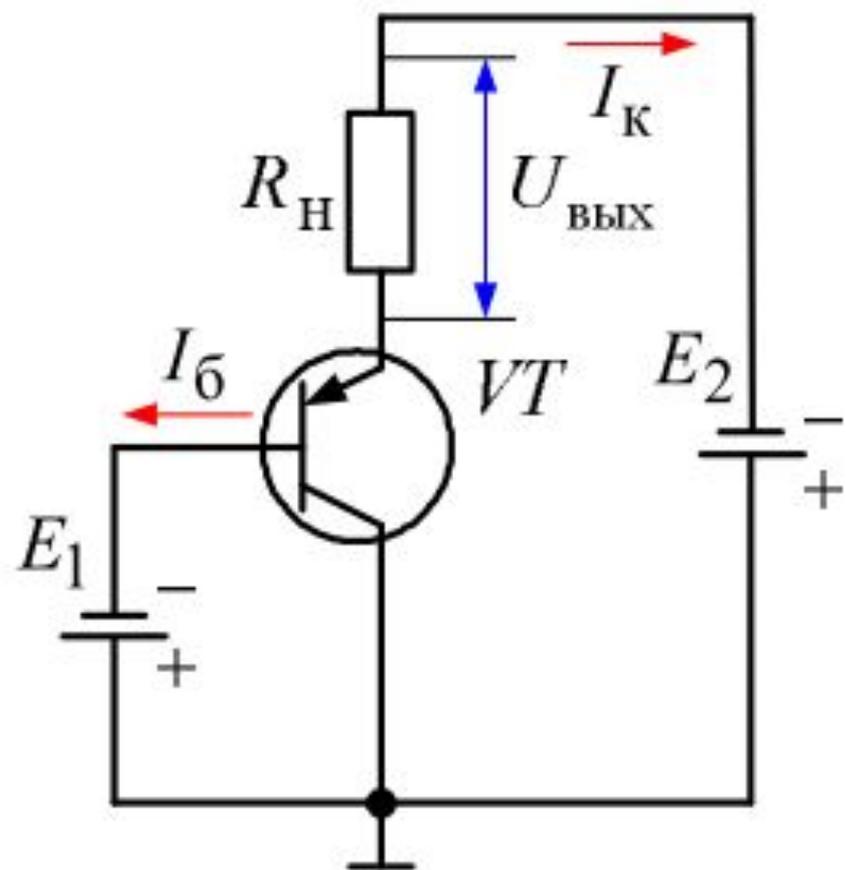
Подставляя сюда  $R_{\text{ВХ э}}$ , получим:

$$k_{U \text{ э}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{ВХ б}}} = \alpha \frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{ВХ б}}},$$

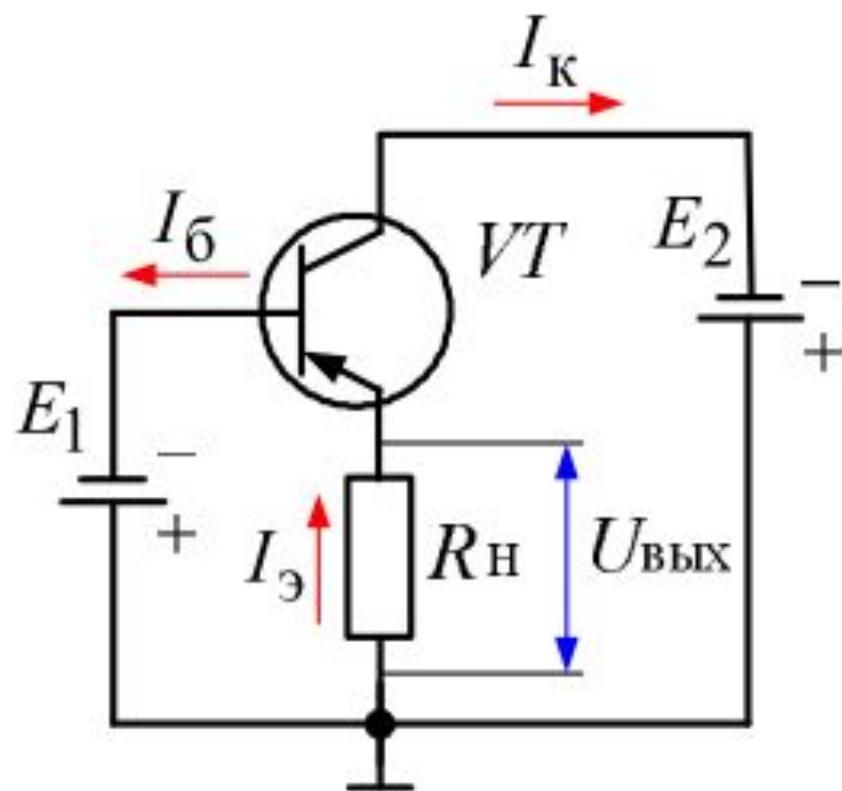
4. Коэффициент усиления по мощности:

$$k_{P \text{ э}} = k_{I \text{ э}} k_{U \text{ э}} = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} \frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{ВХ б}}}.$$

# Схема с общим коллектором



а



б

**Рис. 3.7.** Включение транзистора по схеме с общим коллектором

Основные параметры этой схемы следующие:

1. Коэффициент усиления по току:

$$k_{I_{\text{к}}} = \gamma = \frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{б}}} = \frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{э}} - I_{\text{к}}}.$$

Поделив числитель и знаменатель этой дроби на ток эмиттера  $I_{\text{э}}$ , получим:

$$\gamma = \frac{\frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{э}}}}{\frac{I_{\text{э}} - I_{\text{к}}}{I_{\text{э}}}} = \frac{1}{1 - \alpha},$$

2. Входное сопротивление:

$$R_{\text{вх к}} = \frac{E_1 + I_3 R_H}{I_6}.$$

Преобразуя это выражение, получим:

$$R_{\text{вх к}} = \frac{I_3 \left( \frac{E_1}{I_3} + R_H \right)}{I_3 (1 - \alpha)} = \frac{R_{\text{вх } \sigma} + R_H}{1 - \alpha}.$$

3. Коэффициент усиления по напряжению:

$$k_{U_K} = \frac{I_{\text{Э}} R_{\text{H}}}{I_{\text{Б}} R_{\text{ВХ К}}}.$$

Преобразуем это выражение с учетом  $\gamma$  и  $R_{\text{ВХ К}}$ :

$$k_{U_K} = \frac{R_{\text{H}}}{(1-\alpha)R_{\text{ВХ К}}} = \frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{ВХ Б}} + R_{\text{H}}}.$$

4. Коэффициент усиления по мощности:

$$k_{P_K} = k_{I_K} k_{U_K} = \frac{1}{1 - \alpha} \frac{R_H}{R_{BX} \sigma + R_H},$$

на практике он составляет десятки – сотни единиц.

В отличие от схемы с  
общей базой схема с  
общим эмиттером  
наряду с усилением по  
напряжению даёт также  
усиление по току.

Транзистор,  
включенный по схеме  
с общим эмиттером,  
усиливает ток базы в  
десятки - сотни раз.

Усиление по напряжению в данной схеме остается таким же, как в схеме с общей базой.

Поэтому усиление по мощности в схеме с общим эмиттером значительно больше, чем в схеме с общей базой.

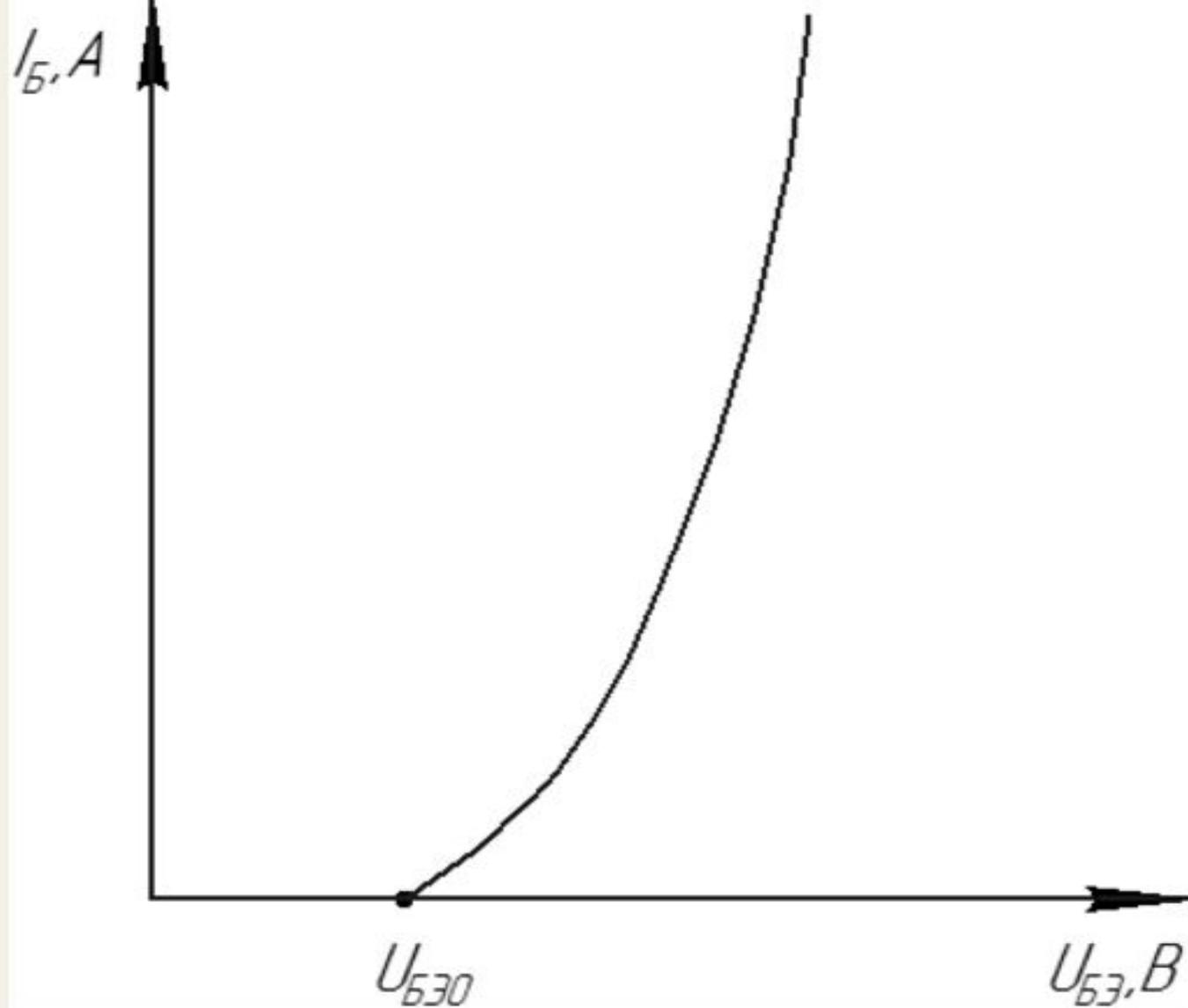
Схема с общим эмиттером имеет более приемлемые значения входного и выходного сопротивлений - входное больше, а выходное сопротивление меньше, чем в схеме с общей базой.

Благодаря указанным  
преимуществам схема с  
общим эмиттером  
находит наибольшее  
применение на  
практике.

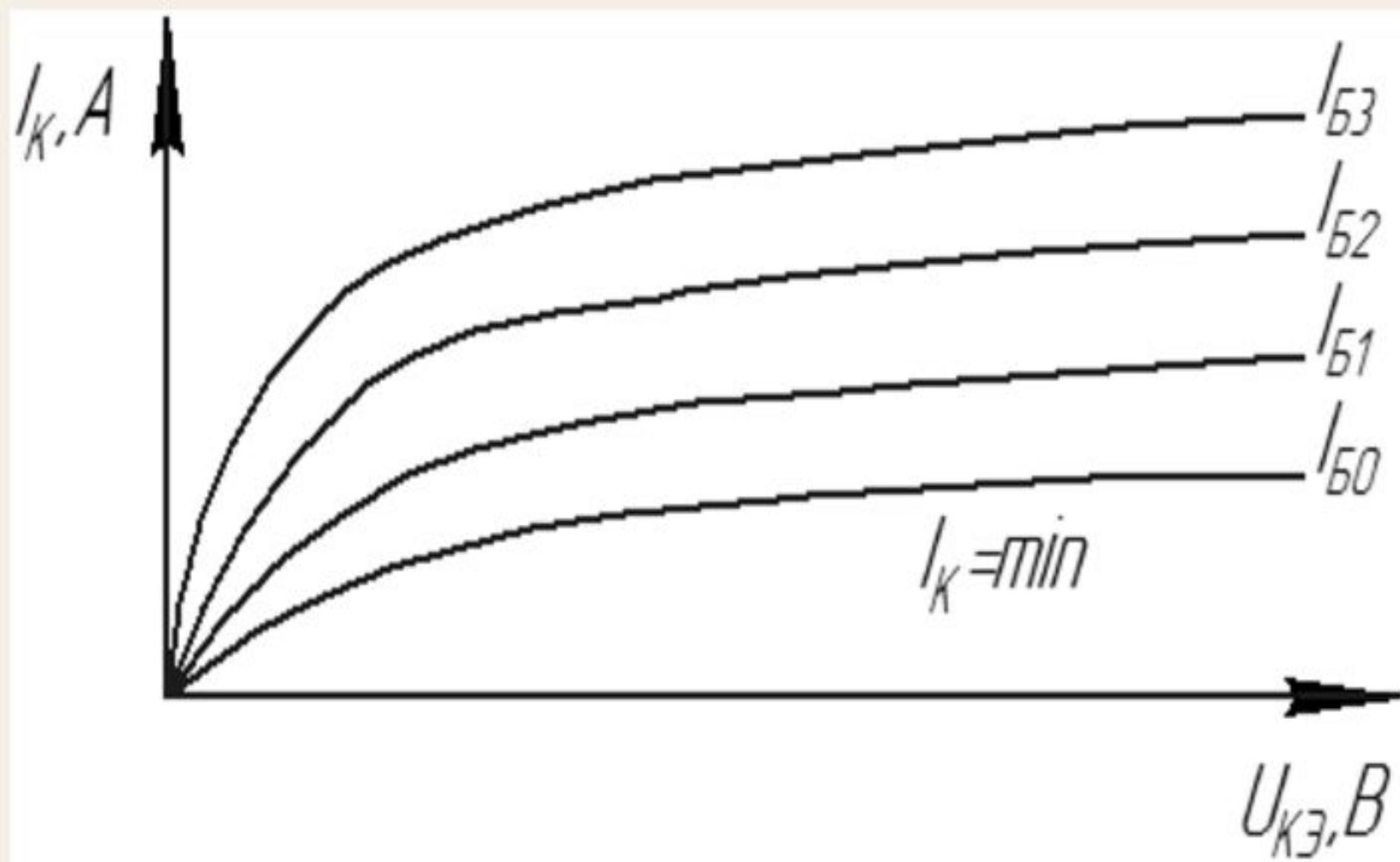
Схема с общей базой хоть и имеет меньшее усиление по мощности и имеет меньшее входное сопротивление, все же ее иногда применяют на практике, т.к. она имеет лучшие температурные свойства.

Схема с общим  
коллектором дает  
усиление по току и по  
мощности, но не дает  
усиления по  
напряжению.

Схему с общим коллектором очень часто применяют в качестве входного каскада усиления из-за его высокого входного сопротивления и способности не нагружать источник входного сигнала, а также данная схема имеет наименьшее выходное сопротивление.



Входная вольтамперная характеристика биполярного транзистора



Выходная ВАХ транзистора

# 3. Полевой транзистор (ПТ)

*Полевой транзистор* - это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через проводящий канал и управляемы электрическим полем.

Т.к. в создании  
электрического тока  
участвуют только основные  
носители заряда, то полевые  
транзисторы иначе называют  
*униполярными*  
транзисторами.



**Рис.4.1.** Конструкции полевых транзисторов

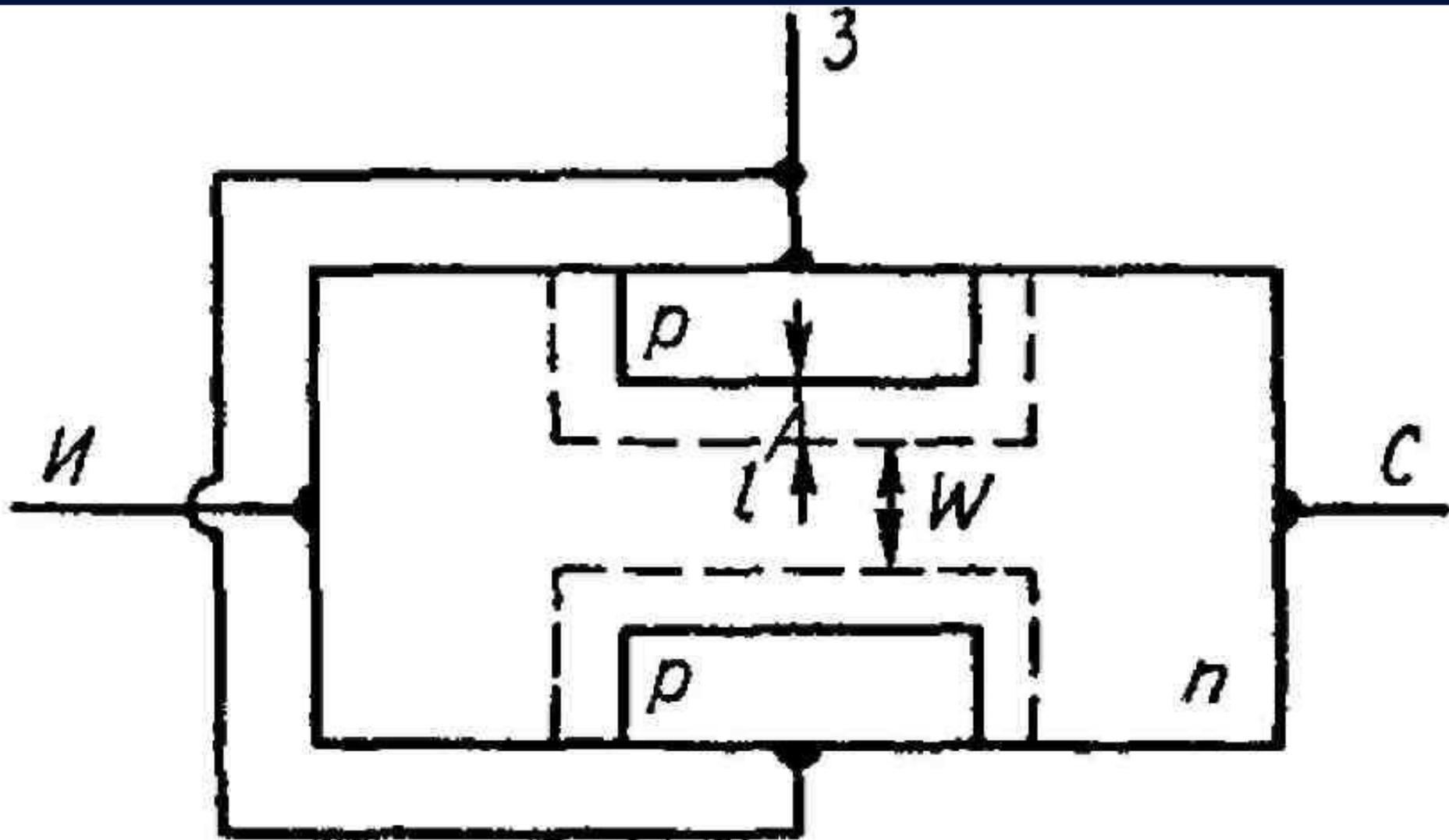
ПТ разделяют на 2 вида:

1) полевые транзисторы с управляющим р-n-переходом;

2) полевые транзисторы с изолированным затвором.

Конструктивно ПТ  
оформляются В  
металлических,  
пластмассовых ИЛИ  
керамических корпусах, их  
конструкции НЕ отличаются  
от конструкций БТ.

Принцип действия ПТ с р-n-переходом основан на изменении сопротивления активного слоя (канала) путем расширения р-n-перехода при подаче на него напряжения обратного смещения. На рис. 13 приведен идеализированный разрез полевого транзистора с n-каналом.



Выводы, сделанные от противоположных сторон пластины полупроводника n-типа, называются **исток**ом (И) и **сток**ом (С). Вывод от р-области называется **затвор**ом (З).

В большинстве случаев выводы от затворов соединены между собой, поэтому в полевом транзисторе (заключенном в корпус) имеется лишь один внешний вывод от затвора.

Расстояние между р-п-переходами называется **шириной канала**  $W$ , а п-область между переходами — каналом. При приложении напряжения между стоком и истоком  $U_{си}$  в цепи сток — исток будет протекать ток  $I_c$  величина которого определяется сопротивлением канала при постоянном  $U_{зи}$ .

Теперь приложим напряжение между затвором и истоком  $U_{зи}$  (« + » на истоке, « — » на затворе). За счет напряжения  $U_{зи}$  переходы сместятся в обратном направлении и соответственно расширятся, вследствие чего ширина канала уменьшится, а сопротивление возрастет.

С возрастом  
сопротивления канала ток  
стока  $I_c$  уменьшится. Таким  
образом, изменяя  
напряжение, можно управлять  
током стока. Максимальная  
ширина канала имеет место  
при  $U_{зи} = 0$ .

Поскольку в основу работы ПТ положен принцип изменения ширины канала, то для транзистора с n-каналом  $U_{зи}$  можно изменять от нуля в сторону отрицательных значений.

Т. е. р-n-переходы затвора всегда должны быть смещены в обратном направлении и их сопротивление должно быть велико. Напряжение на затворе, при котором р-n-переходы смыкаются (канал исчезает), называют **напряжением отсечки**  $U_0$ , этот параметр является одним из основных для любого ПТ.

При воздействии напряжения  $U_{сн}$  р-n-переходы затвора тоже смещаются в обратном направлении, но при этом оказывается, что напряжение, действующее в канале вблизи стока, имеет большее значение (р-n-переход шире), чем вблизи истока.

Падение напряжения на сопротивлении нагрузки при протекании тока  $I_c$  является выходным сигналом, мощность которого значительно больше мощности, затраченной во входной цепи.

Принципиальным отличием ПТ от БТ является то, что источник входного сигнала подключен к р-n-переходу в обратном, запирающем направлении, и следовательно входное сопротивление здесь очень большое, а потребляемый от источника входного сигнала ток очень маленький.

Этим обстоятельством и определяется вид выходных ВАХ полевого транзистора, приведенных на рис. ниже. Напряжение  $U_{сн}$  начиная с которого формируется пологая часть характеристики, принято называть *напряжением насыщения*. Его можно рассчитать как  $U_{сн} = U_0 - U_{зи}$ , откуда следует, что при увеличении  $U_{зи}$  (по абсолютной величине) напряжение  $U_{сн}$  уменьшается (см. рис. 14).

**ЛЕКЦИЯ 4.**  
**ЛОГИЧЕСКИЕ**  
**ЭЛЕМЕНТЫ (ЛЭ)**

Цифровые электронные устройства работают в соответствии с логическими законами. При записи тех или иных логических выражений используется специальный язык, который принят в математической логике.

Основоположником  
математической логики является  
немецкий математик Готфрид  
Вильгельм Лейбниц (1646 - 1716  
гг.). Он сделал попытку построить  
универсальный язык, с помощью  
которого споры между людьми  
можно было бы разрешать  
посредством вычислений.

На заложенном Лейбницем  
фундаменте ирландский  
математик Джордж Буль  
построил здание новой науки -  
математической логики, -  
которая в отличие от обычной  
алгебры оперирует не числами,  
а высказываниями.

**Высказывание** – это  
любое утверждение,  
относительно которого  
можно сказать истинно  
оно или ложно, т.е.  
соответствует оно  
действительности или нет.

Высказывания являются  
двоичными объектами и  
поэтому часто истинному  
значению высказывания ставят в  
соответствие 1, а ложному - 0.

Например, запись  $A=1$   
означает, что высказывание  $A$   
истинно.

Высказывания могут быть простыми и сложными.

Простые соответствуют алгебраическим переменным, а сложные являются аналогом алгебраических функций.

Функции могут получаться путем объединения переменных с помощью логических действий.

Самой простой логической операцией является операция **НЕ** (по-другому ее часто называют отрицанием, дополнением или инверсией и обозначают NOT X). Результат отрицания всегда противоположен значению аргумента.

Логическая операция НЕ является унарной, т.е. имеет всего один операнд. В отличие от нее, операции И (AND) и ИЛИ (OR) являются бинарными, так как представляют собой результаты действий над двумя логическими величинами.

# Таблица 1.

## Основные логические операции

X	NOT X
0	1
1	0

X	Y	X AND Y	X OR Y
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1

Приведенные выше табл. 1 значений переменных для логических операций называются таблицами истинности. В них указываются все возможные комбинации логических переменных  $X$  и  $Y$ , а также соответствующие им результаты операций.

Таблица истинности может рассматриваться в качестве одного из способов задания логической функции.

Операции И, ИЛИ, НЕ образуют полную систему логических операций, из которой можно построить сколь угодно сложное логическое выражение.

Логическое **И** называют  
конъюнкцией, или  
логическим умножением  
(таблица для этой операции  
похожа на двоичную таблицу  
умножения), а **ИЛИ** -  
дизъюнкцией, или  
логическим сложением.

Операция И имеет результат «истина» ТОЛЬКО В ТОМ случае, если оба ее операнда истинны.

Например, рассмотрим высказывание «Для установки ОС «Windows 95» требуется процессор не ниже 80386 и не менее 4 Мбайт оперативной памяти».

Из него следует, что установка будет успешной только при одновременном выполнении обоих условий: даже если у вас в машине Pentium, но мало ОЗУ (равно как и при 8 Мбайт ОЗУ процессор 80286), «Windows 95» работать откажется.

Операция ИЛИ «истину»,  
«если значение «истина» имеет  
хотя бы один из операндов.

В случае, когда справедливы  
оба аргумента одновременно,  
результат по-прежнему  
ИСТИННЫЙ.

Например, когда студентка просит друга подарить ей на день рождения букет цветов или пригласить в кафе, можно без опасений сделать и то, и другое одновременно.

# СХЕМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Если посмотреть на внутреннее устройство современного компьютера, то там присутствуют интегральные микросхемы (ИМС) очень высокого уровня интеграции: микропроцессор, модули ОЗУ, контроллеры внешних устройств и др.

Фактически каждая микросхема или небольшая группа микросхем образуют функционально законченный блок. Уровень сложности блока таков, что разобраться в его внутреннем устройстве для неспециалиста не только нецелесообразно, а просто невозможно.

Для понимания внутренних принципов работы современной ЭВМ достаточно рассмотреть несколько типовых узлов, а изучение поведения ИМС заменить изучением функциональной схемы компьютера.

Обработка информации в  
ЭВМ происходит путем  
последовательного  
выполнения  
элементарных операций.  
К элементарным  
операциям относятся:

1) **установка** — запись в  
операционный элемент  
(например, в регистр)  
двоичного кода;

2) **прием** — передача  
(перезапись) кода из  
одного элемента в другой;

3) **СДВИГ** — ИЗМЕНЕНИЕ  
ПОЛОЖЕНИЯ КОДА ОТНОСИТЕЛЬНО  
ИСХОДНОГО;

4) **преобразование** —  
перекодирование;

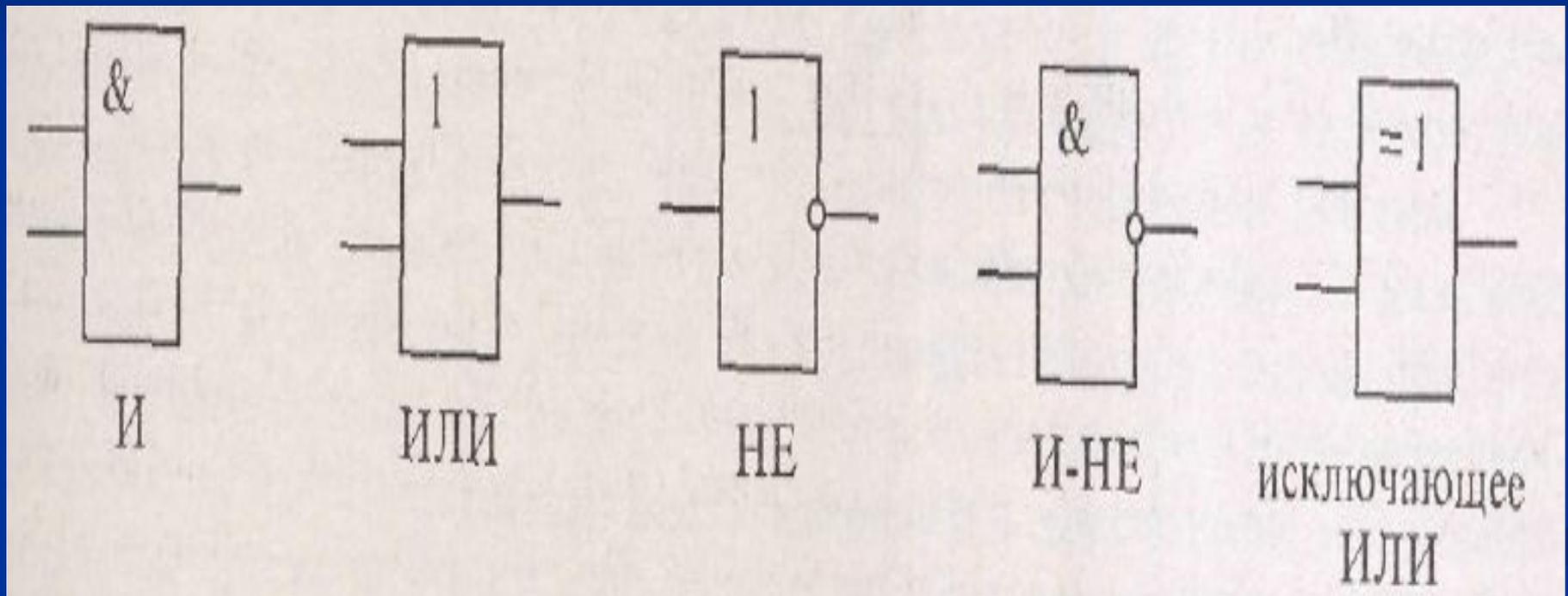
5) **сложение** - арифметическое  
сложение ЦЕЛЫХ ДВОИЧНЫХ  
чисел - и некоторые другие.

Для выполнения каждой из  
этих операций  
сконструированы **электронные**  
**узлы** являющиеся основными  
узлами цифровых  
вычислительных машин —  
регистры, счетчики, сумматоры,  
преобразователи кодов и т.д.

Чтобы изучить электронные узлы необходимо знать базовые логические элементы (ЛЭ).

На практике ЛЭ имеют не один или два, а значительно большее число входов.

# Рис. 1. Условные обозначения основных логических элементов



Простейшие ЛЭ можно реализовать аппаратно. Это означает, что можно создать электронные устройства на транзисторах, резисторах и т.п., каждые из которых имеет 1 или 2 входа для подачи управляющих напряжений (сигналов) и один выход, напряжение на котором определяется соответствующей таблицей истинности.

На практике логическому «да» («истина», или цифра 1) в таблицах истинности соответствует наличие напряжения, логическому «нет» («ложь», или цифра 0) - его отсутствие.

Логический элемент **НЕ** реализуют схемы с переключателем (рис. 2, а) и на транзисторе (рис. 2, б).

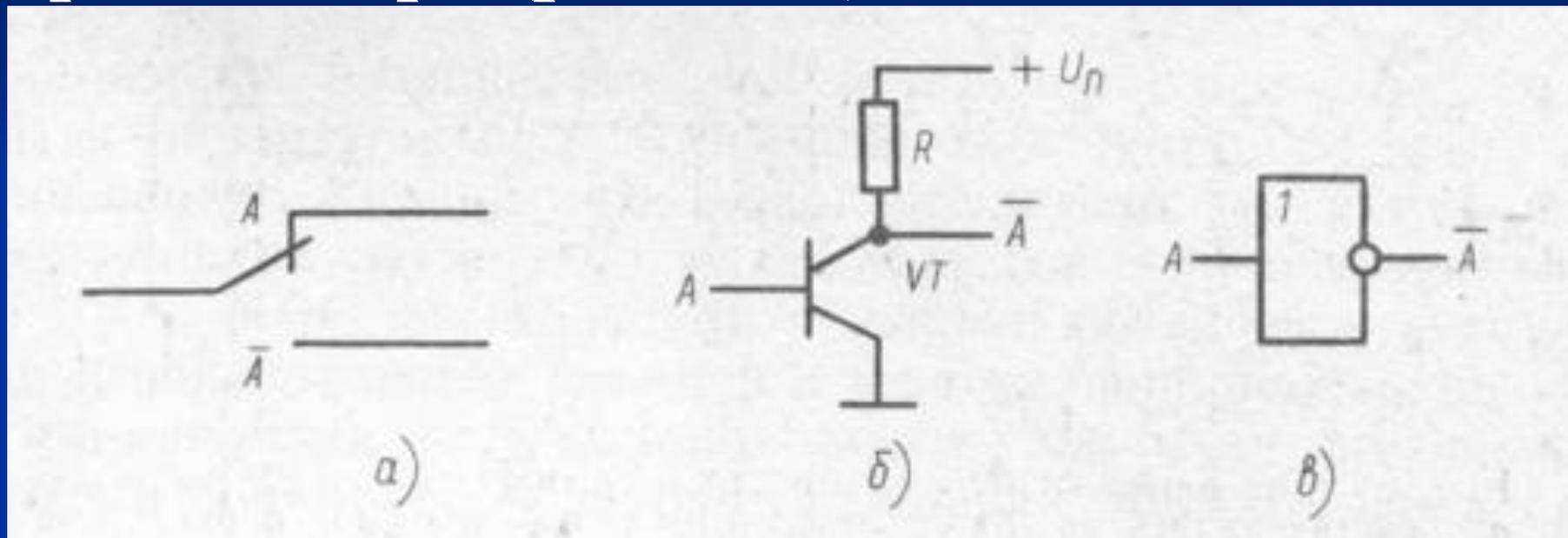


Рис 2. Техническая реализация операции НЕ: а - контактная схема, б - диодная схема, в - условное обозначение.

Если на вход элемента НЕ (т. е. на базу транзистора) подать положительный сигнал, то транзистор VT открыт и на выходе будет низкое напряжение, близкое к потенциалу эмиттера, эквивалентное "логическому 0".

Если же на вход подать сигнал низкого уровня, то транзистор закрыт и на выходе схемы будет сигнал, примерно равный потенциалу источника питания (т. е. соответствующий "логической 1").

Изображение логического элемента НЕ на схеме показано на рис. 2, в. Кругок на изображении элемента, называемый индикатором уровня сигнала, располагается там, где, как правило, сигнал имеет низкий уровень.

Простейшей электронной схемой, выполняющей логическую функцию И, является схема с диодами, число которых равно числу переменных данной функции (рис. 3).

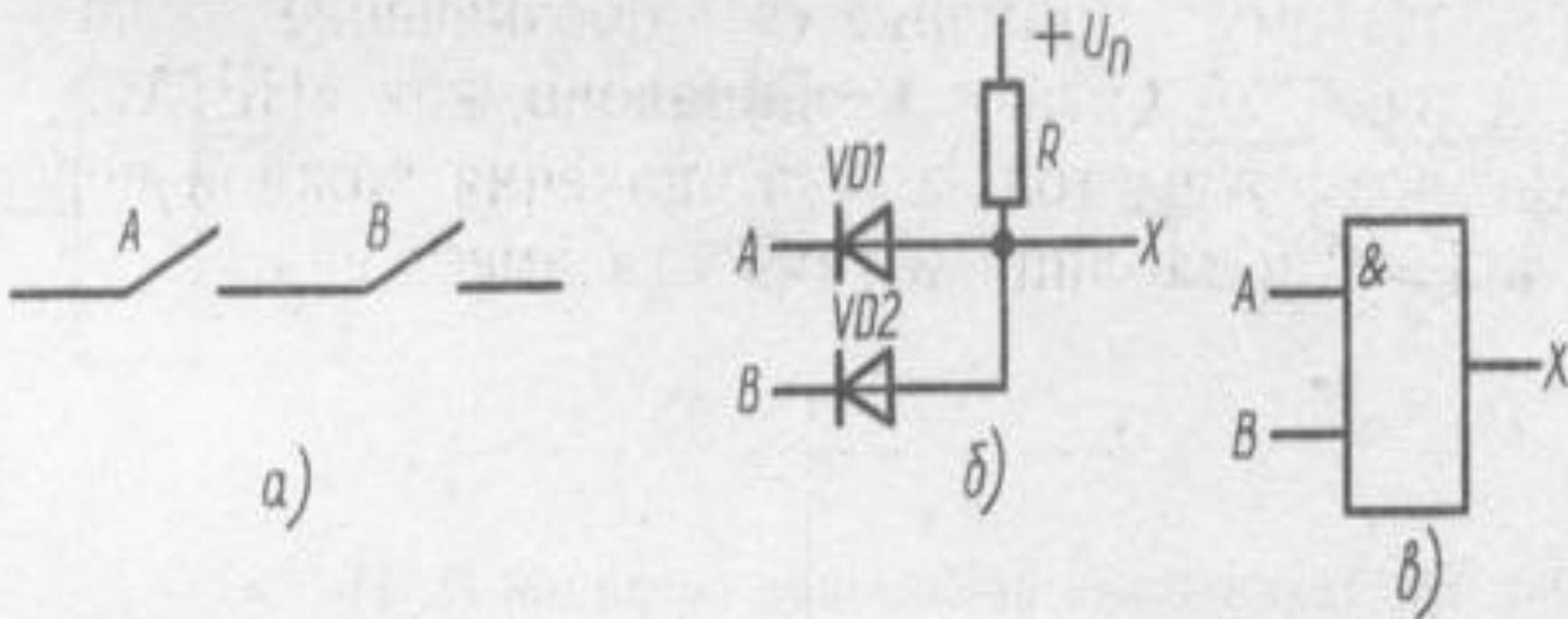


Рис 3. Техническая реализация операции И: а - контактная схема, б - диодная схема, в - условное обозначение.

Если хотя бы на одном из входов такой схемы положительный сигнал отсутствует (т. е. на данном входе «логический 0»), то через этот диод и резистор  $R$  будет проходить ток, вызывающий падение напряжения на резисторе  $R$ .

В результате на выходе  
схемы напряжение сигнала  
будет близким 0 В (равным  
падению напряжения на  
ВХОДНОМ диоде,  
находящемся в  
проводящем состоянии).

Когда на все входы подаются положительные сигналы (т. е. «логические 1»), все цепи, по которым проходит ток от положительного источника через резистор  $R$ , будут заперты и на выходе схемы получится сигнал, равный напряжению источника питания, т. е. эквивалентный «логической 1».

Техническую реализацию логической функции ИЛИ иллюстрирует рис. 4.

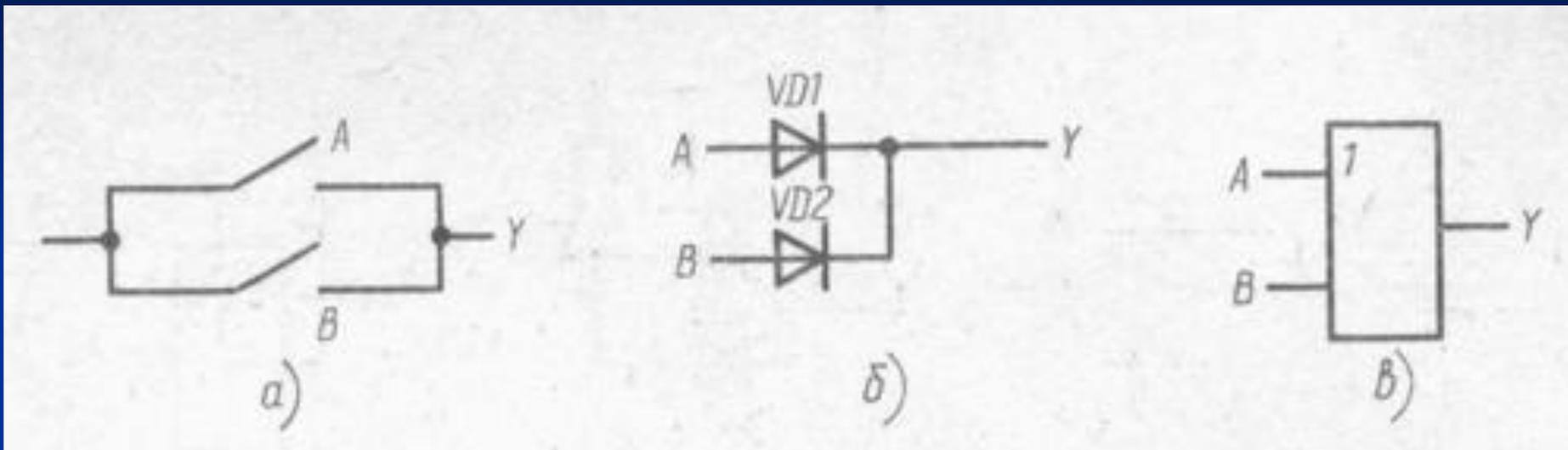


Рис 4. Техническая реализация операции ИЛИ: а - контактная схема, б - диодная схема, в - условное обозначение.

В электрической цепи с параллельно включенными контактами (рис. 4, а) ток будет проходить в том случае, если замкнут контакт А или контакт В (или оба контакта).

Электронной схемой, реализующей логическую функцию ИЛИ, является схема с диодами, направление включения которых изменено на противоположное по сравнению со схемой И (рис. 4, б).

Если на любой вход схемы или на несколько входов поступит положительный сигнал, то через входной диод на выход схемы будет передано положительное напряжение. Таким образом, на выходе появится положительный сигнал, что эквивалентно появлению 1 на выхода логического элемента.

Только в том случае, когда на всех входах схемы будут нулевые напряжения, на выходе будет сигнал низкого уровня, означающий «логический 0».

На принципиальных и функциональных схемах логический элемент ИЛИ изображается прямоугольником с единицей в левом верхнем углу (рис 4, в).

Электронная схема  
логического устройства И-  
НЕ основана на двух  
n-p-n-транзисторах. Для ее  
понимания достаточно  
вспомнить, как работают  
транзисторы.

Через транзистор может протекать ток от коллектора к эмиттеру (на рис. 5 это соответствует «от плюса к минусу») при наличии положительного напряжения на базе (т.е. в точках А и В). Отсутствие напряжения на базе запирает этот ток.

Рис. 5. Электронная реализация  
логического элемента И-НЕ  
(схема на п-р-п-транзисторах)

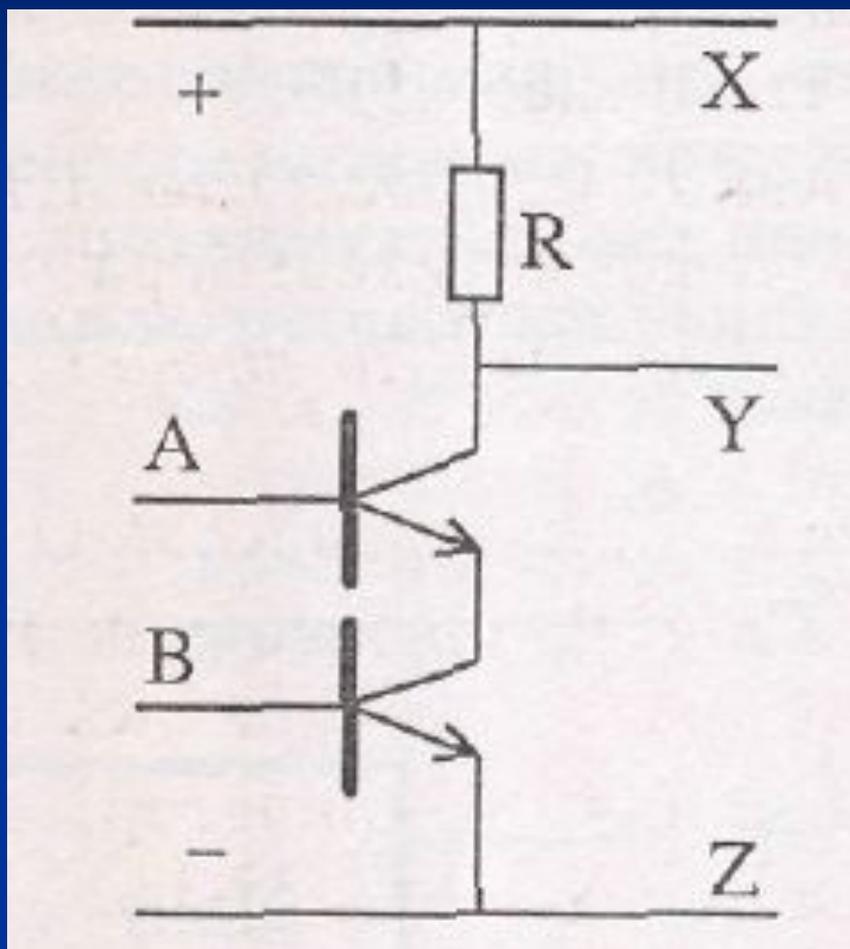


Схема на рис. 5 имеет два  
входа А и В, через которые  
подаётся информация в  
виде электрического  
напряжения: есть  
напряжение - логическое  
«да», нет его - «нет».

Выход - точка  $Y$ , наличие разности потенциалов между которой и точкой  $Z$  рассматривается как «да», отсутствие - как «нет». Питающее напряжение для схемы подается на левые входы («+» и «-»). Резистор  $R$ , при наличии тока, создает падение напряжения.

Допустим, на входах А и В нет напряжения («нет» и «нет»). В последней колонке табл. 2 этому соответствует  $A=0, B=0$ .

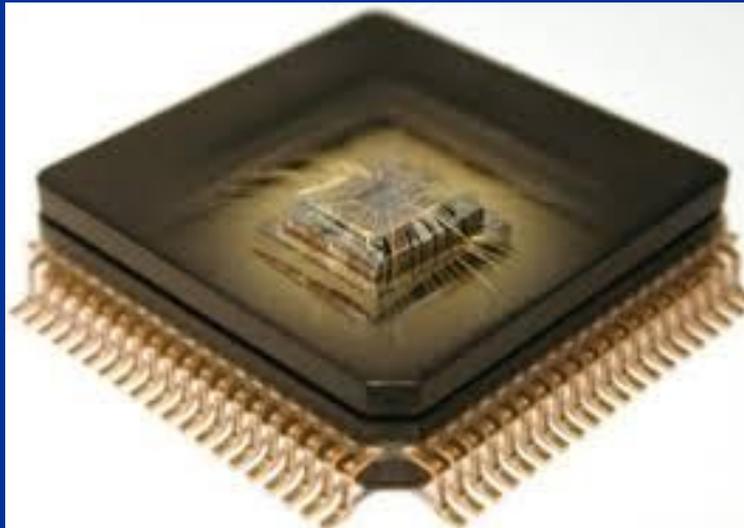
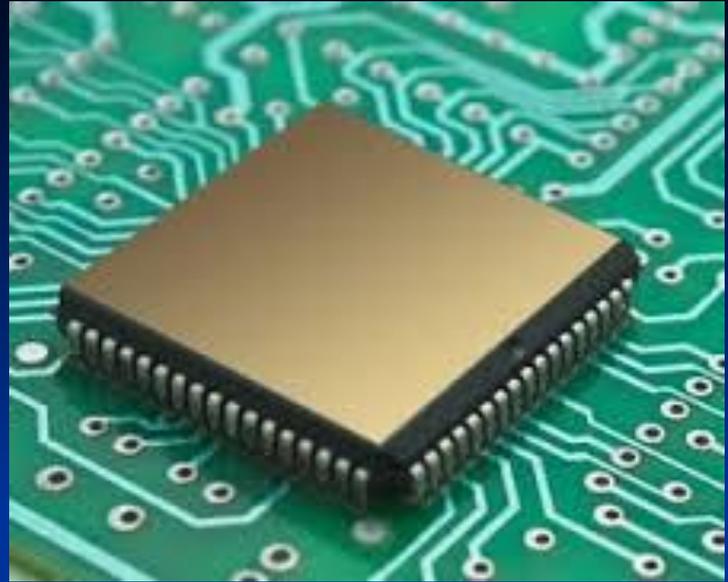
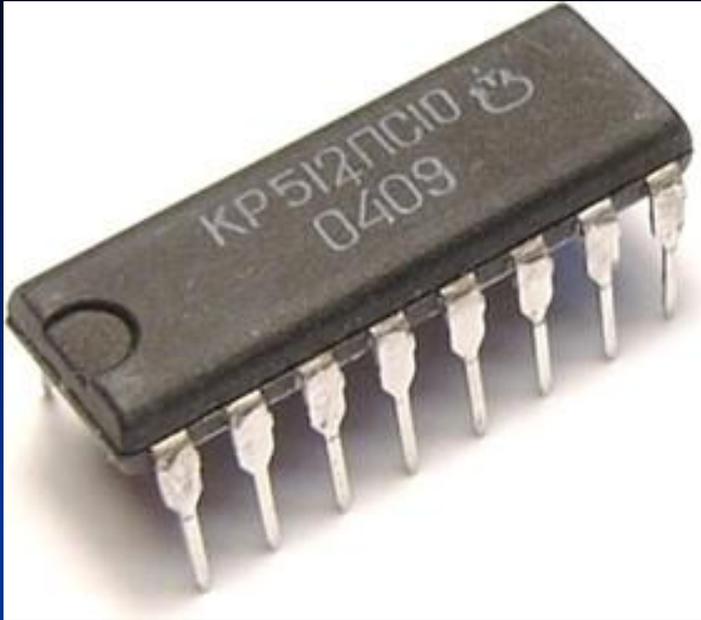
Тогда оба транзистора «заперты», ток по цепи не протекает и между точками Y и Z есть разность потенциалов - т.е. результат операции «да», что в логических обозначениях соответствует 1.

Если заперт один из транзисторов, то результат все равно такой же.

Лишь если оба транзистора открыты, ток в цепи идет и между точками  $Y$  и  $Z$  разности потенциалов нет (падение напряжения на самих транзисторах ничтожно мало по сравнению с его падением на резисторе).

# *Интегральная микросхема* (микросхема) — это

микроэлектронное изделие,  
выполняющее преобразование,  
обработку сигнала и  
накапливание информации,  
имеющее высокую плотность  
упаковки электрически  
соединенных элементов.



*Элемент* — это часть микросхемы, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента, которая может быть выделена как самостоятельное изделие.

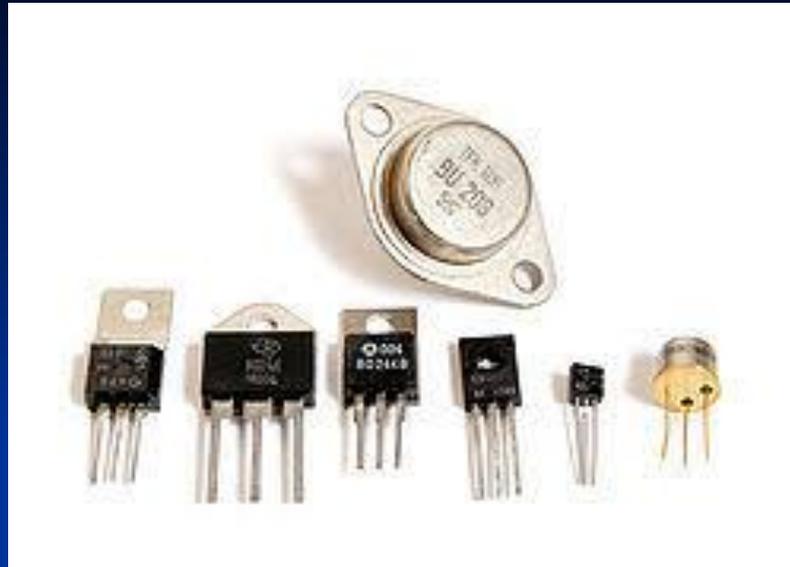
Под

**электрорадиоэлемен**

**ТОМ** ПОНИМАЮТ ДИОД,

ТРАНЗИСТОР, РЕЗИСТОР,

КОНДЕНСАТОР И ДР.



*Компонент* — это часть микросхемы, реализующая функцию какого-либо электрорадиоэлемента, которая НЕ может быть выделена как самостоятельное изделие.

Компоненты

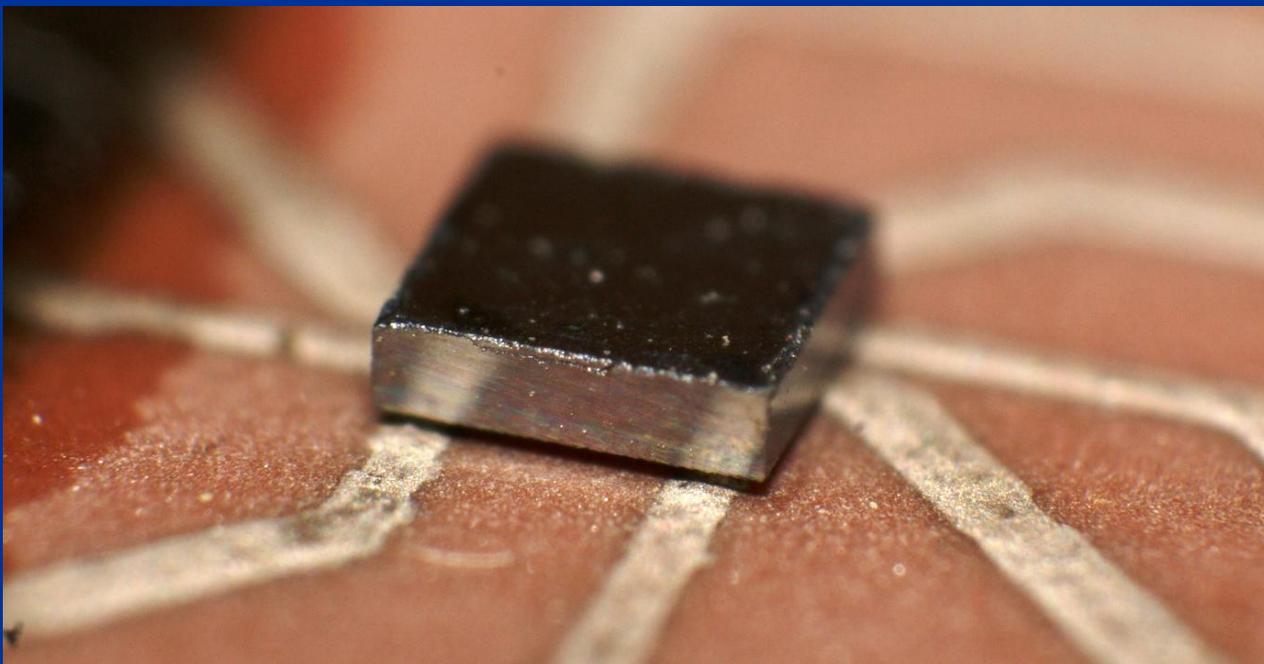
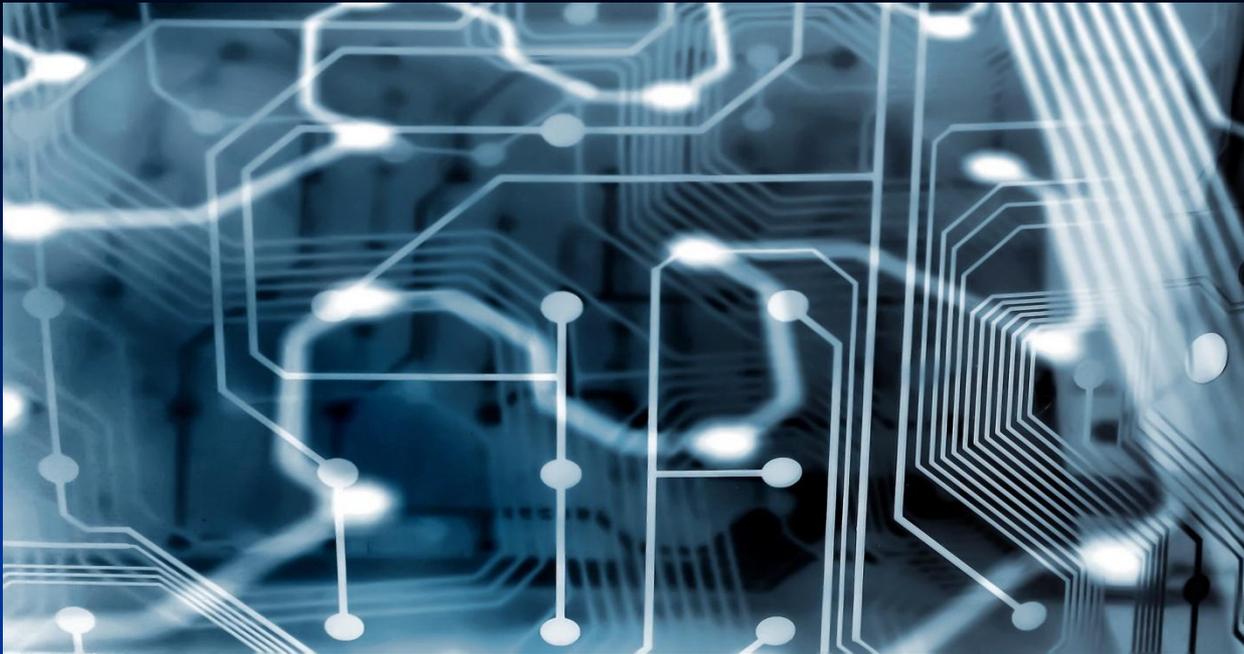
устанавливаются на

**подложке микросхемы**

при выполнении

сборочно-монтажных

операций.



К простым компонентам относятся бескорпусные диоды и транзисторы, специальные типы конденсаторов, малогабаритные катушки индуктивности и др.

*Плотность упаковки* —  
это отношение числа  
простых компонентов и  
элементов к объему  
микросхемы без учета  
объема выводов.

С точки зрения  
внутреннего устройства  
микросхема представляет  
собой совокупность  
большого числа  
элементов и компонентов.

Термин «**интегральная**»  
отражает конструктивное  
объединение элементов и  
компонентов, а также полное  
или частичное объединение  
технологических процессов  
их изготовления.

Критерием оценки сложности микросхемы является **степень интеграции.**

Она определяется  **$K = L \ln N$** ,  
где  $N$  — число элементов и простых компонентов.

Степень  
интеграции  
микросхемы

Количество элементов и  
простых компонентов

Первая

10

Вторая

От 10 до 100

Третья

От 100 до 1000

Микросхема,  
содержащая с 1000 до  
10000 элементов и  
простых компонентов,  
называется *большой*  
*интегральной*  
*микросхемой* (БИС).

Микросхема,  
содержащая свыше  
10000 элементов и  
простых компонентов,  
называется

*сверхбольшой  
интегральной  
микросхемой* (СБИС).

По функциональному  
назначению  
микросхемы  
подразделяются на  
*цифровые* и  
*аналоговые.*

*Цифровая* микросхема  
предназначена для  
преобразования и  
обработки сигналов,  
изменяющихся по  
закону дискретной  
функции.

А В *аналоговых*  
микросхемах сигналы  
изменяются по закону  
непрерывной функции.  
Самый распространенный  
тип аналоговых  
микросхем — это  
операционные усилители.

# СУММАТОР

Предназначен для нахождения суммы двух двоичных чисел. Для простоты рассмотрим устройство — полусумматор. Он реализует сложение двух одноразрядных двоичных чисел, которые обозначим  $A$  и  $B$ .

В результате получается двухразрядное двоичное число. Его младшую цифру обозначим  $S$ , а старшую через  $Co$  (от английских слов «Carry out»- «выходной перенос»). Для лучшего понимания происходящего вспомните правило типа «ноль пишем, один в уме». Обе цифры можно получить по следующим логическим формулам:

$$S = (\bar{A} \wedge B) \vee (A \wedge \bar{B}), Co = A \wedge B$$

Черта над СИМВОЛОМ обозначает операцию NOT, знак  $\wedge$  - КОНЪЮНКЦИЮ, знак  $\vee$  -ДИЗЪЮНКЦИЮ. Это легко проверить перебором всех четырех ВОЗМОЖНЫХ случаев сочетания значений A и B, пользуясь табл. 4

# Табл. 4. Таблица истинности для полусумматора

A	B	S	Co
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

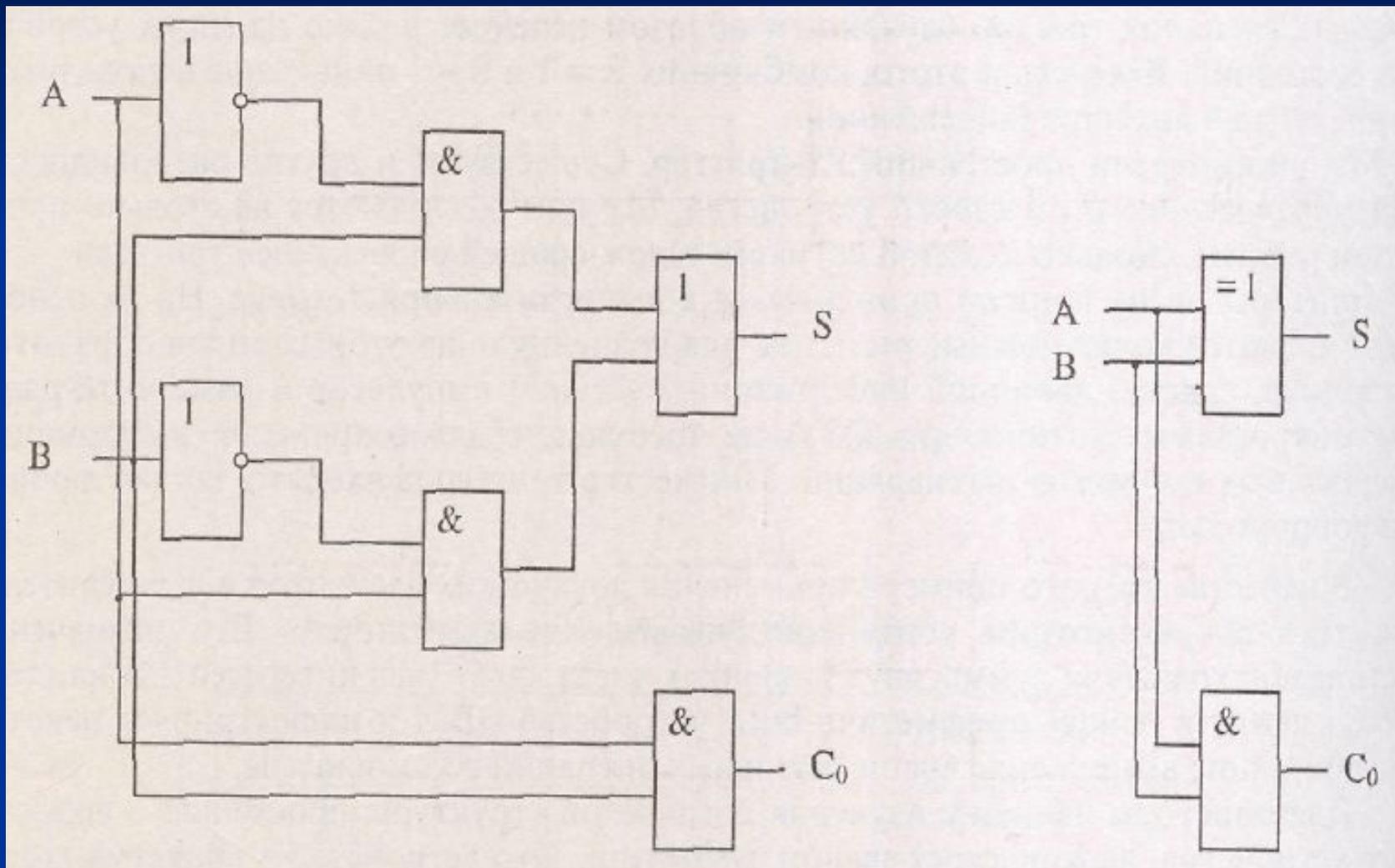
Для реализации  
полусумматора  
достаточно соединить  
параллельно входы двух  
логических элементов  
(рис. 3).

Ниже приведены два варианта логической схемы полусумматора с:

- использованием лишь базовых логических элементов
- использованием логического элемента «исключающее ИЛИ».

Видно, что вторая схема существенно проще.

Рис. 6. Логическая схема полусумматора (два варианта)



Полный одноразрядный сумматор «умеет» при сложении двух цифр учитывать возможное наличие единицы, переносимой из старшего разряда (той, которая при обычном сложении столбиком остается «в уме»). Обозначим этот «бит переноса» через  $C_i$  (от английского «Carry in» - «входной перенос»).

Табл. 5. Таблица истинности для сумматора

Входы			Выходы	
A	B	C <sub>i</sub>	S	C <sub>o</sub>
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	1	1	0
0	1	0	0	1
1	0	1	1	0
1	0	0	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

При построении схемы сумматор удобно представить в виде двух полусумматоров, из которых первый суммирует разряды  $A$  и  $B$ , а второй к полученному результату прибавляет бит переноса  $C_i$ .

Для суммирования младших разрядов чисел полусумматора уже достаточно, так как в этом случае отсутствует сигнал входного переноса.

Соединив два полусумматора как показано на рис. 7, получим полный сумматор, способный осуществить сложение двух двоичных разрядов с учетом возможности переноса.

Рис. 7. Сумматор, составленный из двух полусумматоров

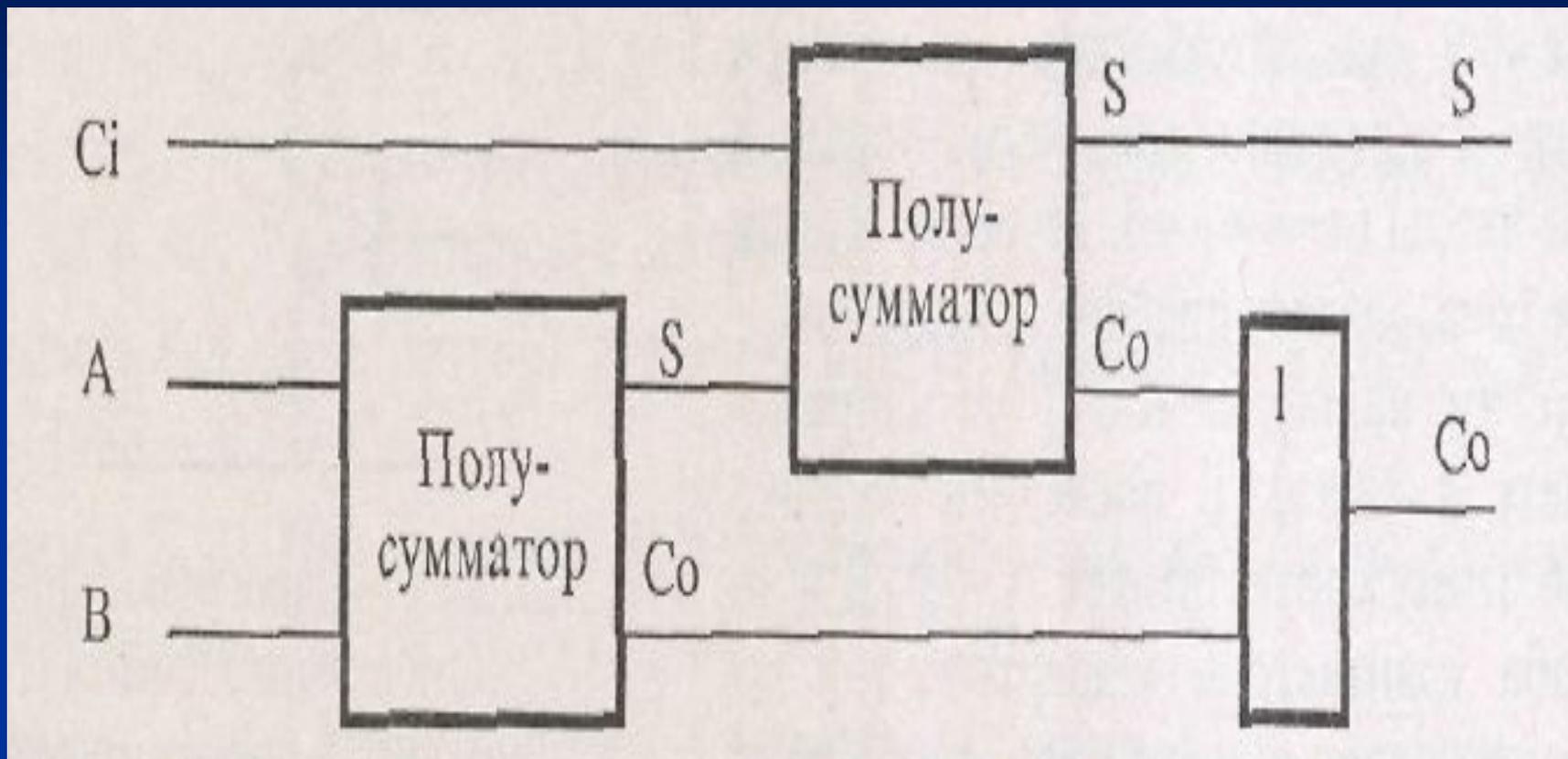
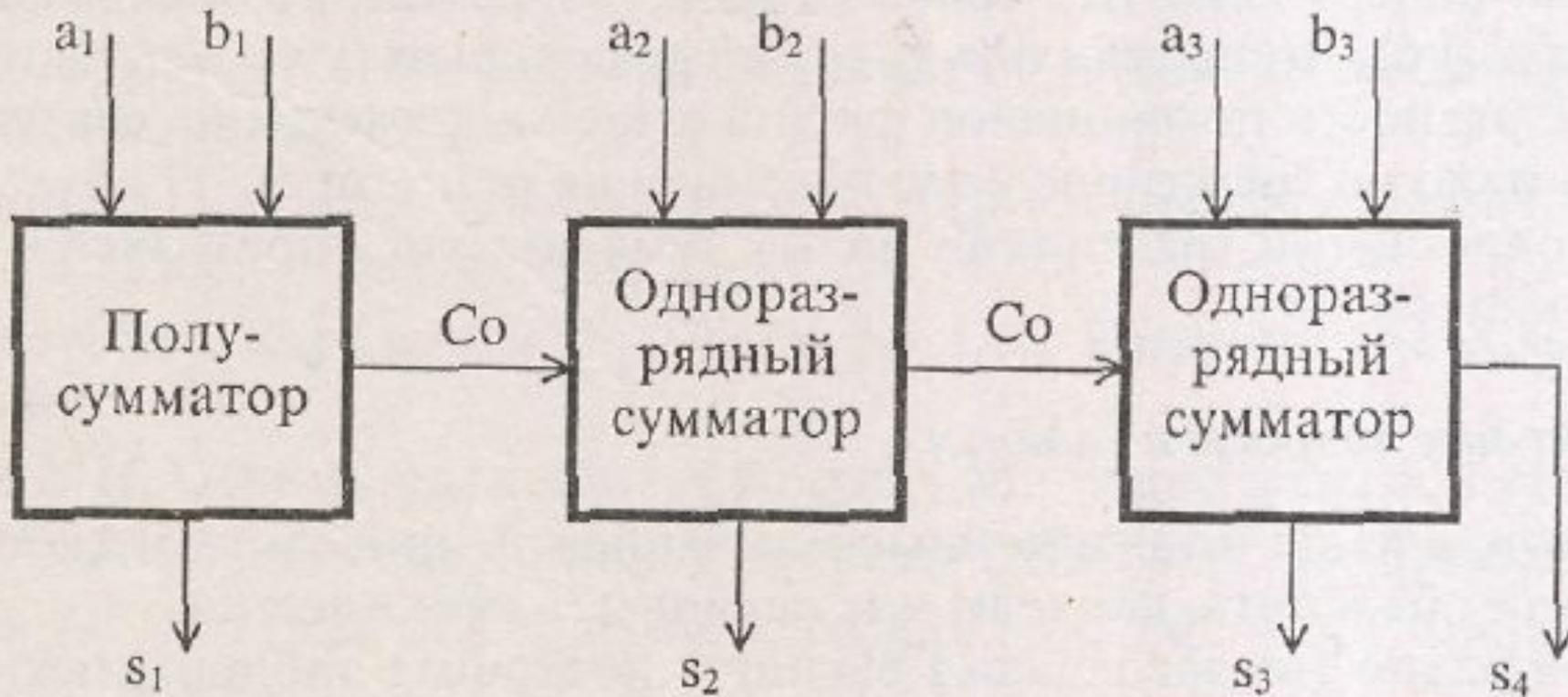


Рис. 8. Логическая схема суммирования двух трехразрядных двоичных чисел



Перейти к многоразрядным числам можно путем последовательного соединения соответствующего количества сумматоров. На рис. 8 представлена схема суммирования двух трехразрядных двоичных чисел  $A + B = S$ ; в поразрядной записи эта операция имеет следующие обозначения:

$$(a_3a_2a_1) + (b_3b_2b_1) = (s_4s_3s_2s_1)$$

Последовательность логических схем на рис. 4 – 8 отражает важнейшую в современной цифровой электронике и вычислительной технике идею последовательной интеграции. Такая интеграция позволяет реализовать все более функционально сложные узлы современного компьютера.

# Триггер

**Триггер** — это запоминающий элемент с двумя (или более) устойчивыми состояниями, изменение которых происходит под действием входных сигналов и предназначен для хранения одного бита информации, то есть лог. 0 или лог. 1.

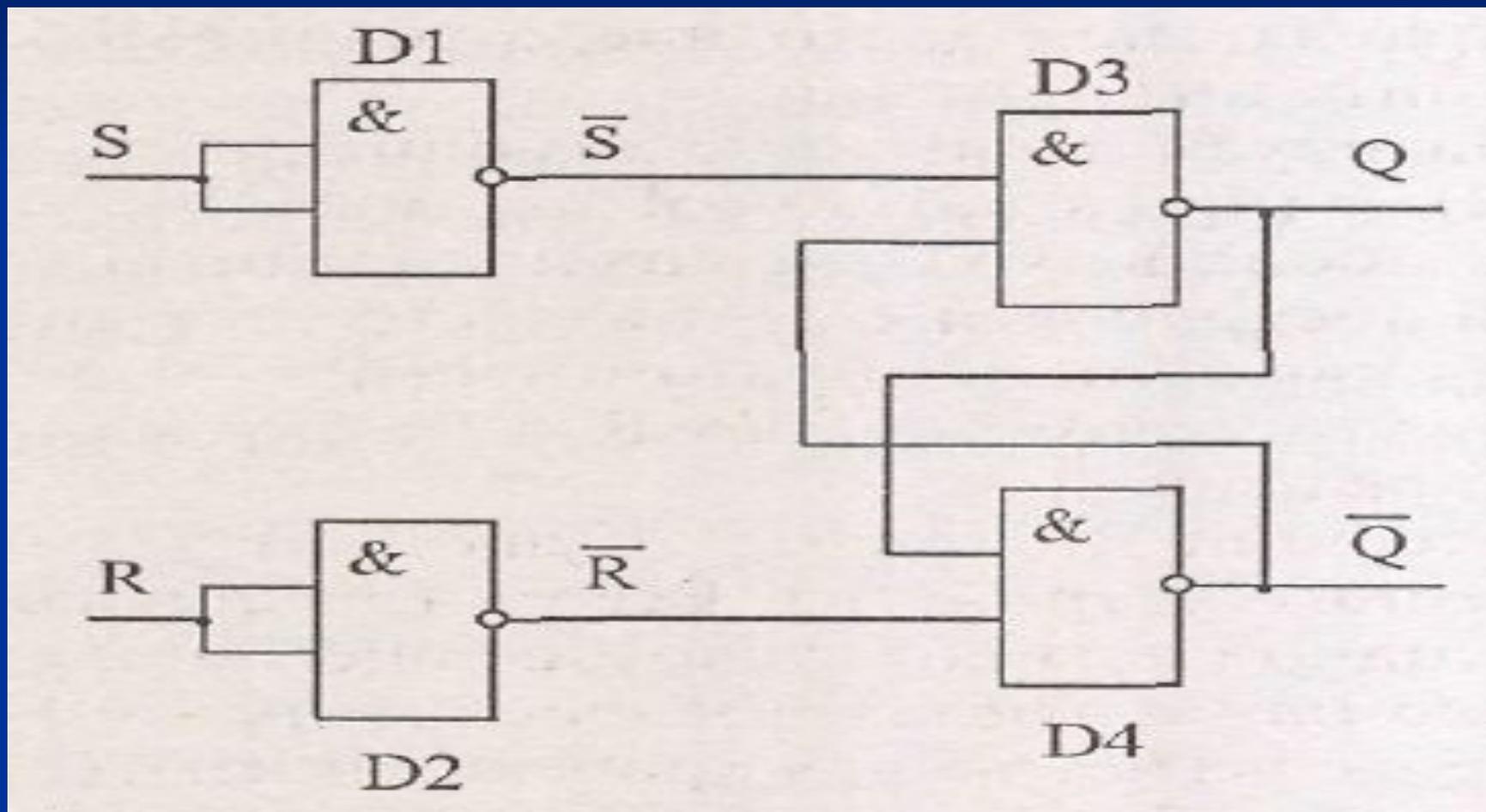
Все разновидности триггеров представляют собой элементарный автомат, включающий собственно элемент памяти (ЭП) и комбинационную схему (КС), которая может называться схемой управления или входной логикой (рис. 1).



Рис. 1. Структура триггеров в виде КС и ЭП

**Триггер** – основа устройств оперативного хранения информации. Соответствующая его работе таблица истинности (табл. 1) приведена ниже.

# Рис. 2. Логическая схема триггера



# Таблица 1.

## Таблица истинности RS-триггера

S	R	$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q	$\bar{Q}$	Примечания
0	0	1	1	X	X	Хранение
0	1	1	0	0	1	
1	0	0	1	1	0	
1	1	0	0	(1	1)	Запрещено

Простейший вариант триггера собирается из четырех логических элементов И-НЕ, два из которых играют вспомогательную роль.

Триггер имеет два входа, обозначенные на схеме R и S, а также два выхода, помеченные буквой Q - прямой и инверсный (черта над Q у инверсного выхода означает отрицание).

Триггер устроен таким  
образом, что на  
прямом и инверсном  
выходах сигналы  
всегда  
противоположны.

# Работа триггера

Пусть на входе  $R$  установлена 1, а на  $S$  - 0. Логические элементы  $D1$  и  $D2$  инвертируют эти сигналы, т.е. меняют их значения на противоположные. В результате на вход элемента  $D3$  поступает 1, а на  $D4$  - 0.

Поскольку на одном из  
входов D4 есть 0,  
независимо от состояния  
другого входа на его  
выходе (это инверсный  
выход триггера)  
обязательно установится 1.

Эта единица передается на вход элемента D3 и в сочетании с 1 на другом входе порождает на выходе D3 логический 0. При  $R=1$  и  $S=0$  на прямом выходе триггера устанавливается 0, а на инверсном - 1.

Обозначение состояния триггера по договоренности связывается с прямым выходом. Тогда при описанной выше комбинации входных сигналов результирующее состояние можно условно назвать нулевым: говорят, что триггер «устанавливается в 0» или «сбрасывается».

Сброс по-английски  
называется «**Reset**»,  
отсюда вход, появление  
сигнала на котором  
приводит к сбросу  
триггера, обозначают  
буквой R.

В «симметричном» случае  $R = 0$  и  $S = 1$  на прямом выходе получится логическая 1, а на инверсном - 0. Триггер перейдет в единичное состояние - «установится» (установка по-английски - «**Set**»).

# Триггер

—  
микроэлектронное изделие,  
которое может находиться в 2-  
х устойчивых состояниях.

Кроме того триггер может  
осуществлять сдвиг во  
времени, а также задержку.

Рассмотрим ситуацию  $R=0$  и  $S=0$  - входных сигналов нет. Тогда на входы элементов  $D3$  и  $D4$ , связанные с  $R$  и  $S$ , будет подана 1 и их выходной сигнал будет зависеть от сигналов на противоположных входах.

Такое состояние будет устойчивым. Пусть, например, на прямом выходе 1. Тогда наличие единиц на обоих входах элемента D4 «подтверждает» нулевой сигнал на его выходе.

В свою очередь, наличие 0 на инверсном выходе передается на D3 и поддерживает его выходное единичное состояние.

Аналогично доказывается устойчивость картины и для противоположного состояния триггера, когда  $Q = 0$ .

Таким образом, при отсутствии входных сигналов триггер сохраняет свое «предыдущее» состояние. Иными словами, если на вход R подать 1, а затем убрать, триггер установится в нулевое состояние и будет его сохранять, пока не поступит сигнал на другой вход S.

В последнем случае он перебросятся в единичное состояние и после прекращения действия входного сигнала будет сохранять на прямом выходе 1.

Триггер обладает  
замечательным свойством:  
после снятия входных  
сигналов он сохраняет свое  
состояние, а значит может  
служить устройством для  
хранения одного бита  
информации.

Рассмотрим комбинацию  
входных сигналов:  $R = 1$   
и  $S = 1$ . Нетрудно  
убедиться, что в этом  
случае на обоих выходах  
триггера установится 1.

Такое состояние помимо своей логической абсурдности еще и является неустойчивым: после снятия входных сигналов триггер случайным образом перейдет в одно из своих устойчивых состояний. Вследствие этого, комбинация  $R = 1$  и  $S = 1$  никогда не используется на практике и является запрещенной.

Мы рассмотрели простейший RS-триггер. Существуют и другие разновидности этого устройства. Все они различаются не столько принципом работы, сколько входной логикой, усложняющей «поведение» триггера. Триггеры очень широко применяются в вычислительной технике.

На их основе изготавливаются всевозможные регистры для хранения и некоторых видов обработки (например, сдвига) двоичной информации, счетчики импульсов.

Кроме того изготавливаются интегральные микросхемы статического ОЗУ, не требующие для сохранения информации специальных процессов регенерации. Множество триггеров входят в состав любого микропроцессора.

# Классификация триггеров

Основной функциональный признак — позволяет систематизировать статические симметричные триггеры по способу организации логических связей между входами и выходами триггера в определённые дискретные моменты времени до и после появления входных сигналов.

По этой классификации  
триггеры  
характеризуются  
числом логических  
входов и их  
функциональным  
назначением (рис. 3).

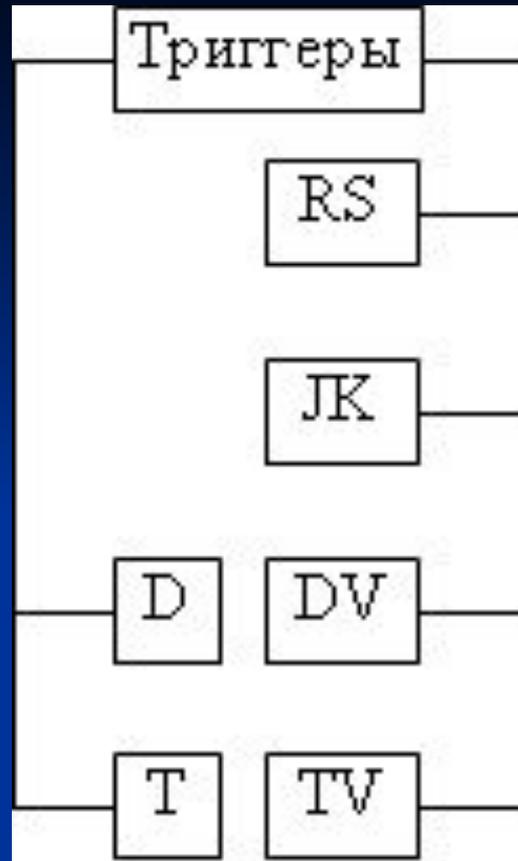


Рис. 3. Функциональная классификация триггеров

Вторая классификационная схема, независимая от функциональной, характеризует триггеры по способу ввода информации и оценивает их по времени обновления выходной информации относительно момента смены информации на входах (рис. 4).

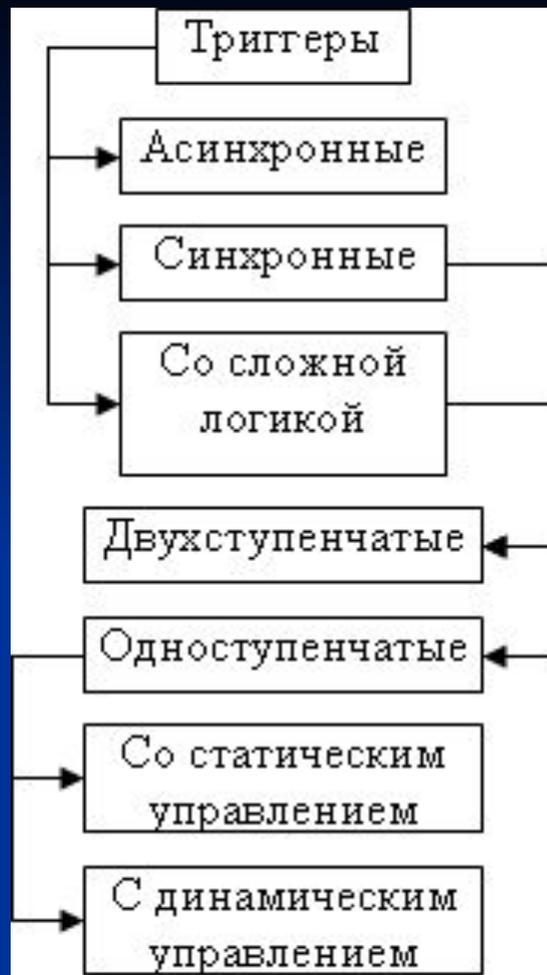


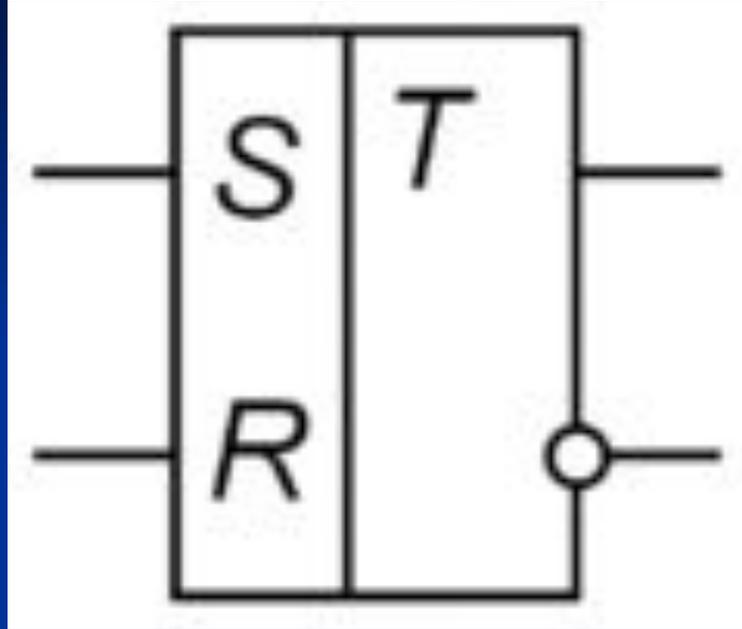
Рис. 4. Классификация триггеров по способу ввода информации

# Типы триггеров

1. **RS-триггер**, или **SR-триггер** (от англ. *Set/Reset* — установить/сбросить) — асинхронный триггер, который сохраняет своё предыдущее состояние при неактивном состоянии обоих входов и изменяет своё состояние при подаче на один из его входов активного уровня.

<b>S</b>	<b>R</b>	<b>Q(t)</b>	<b><math>\bar{Q}(t)</math></b>
0	1	0	1
1	0	1	0
0	0	0	0
1	1	1	1

Таблица истинности RS триггера



Условное обозначение RS триггера

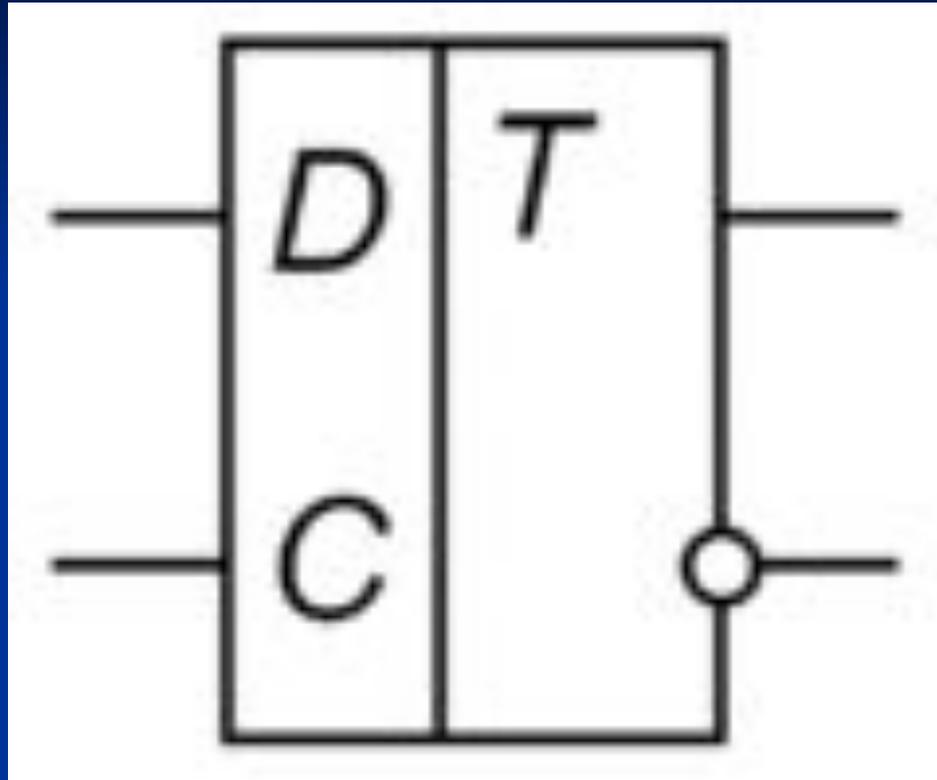
2.

D-

триггер (D от англ. *delay* — задержка, либо от *data* — данные) — запоминает состояние входа и выдаёт его на выход. D-триггеры имеют, как минимум, два входа: информационный D и синхронизации C. Вход синхронизации C может быть статическим (потенциальным) и динамическим.

<b>D</b>	<b>Q(t)</b>	<b>Q(t+1)</b>
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Таблица истинности D триггера



Условное обозначение D триггера

### 3. T-триггер (от англ.

Toggle — *переключатель*)

часто называют

счётным триггером, так

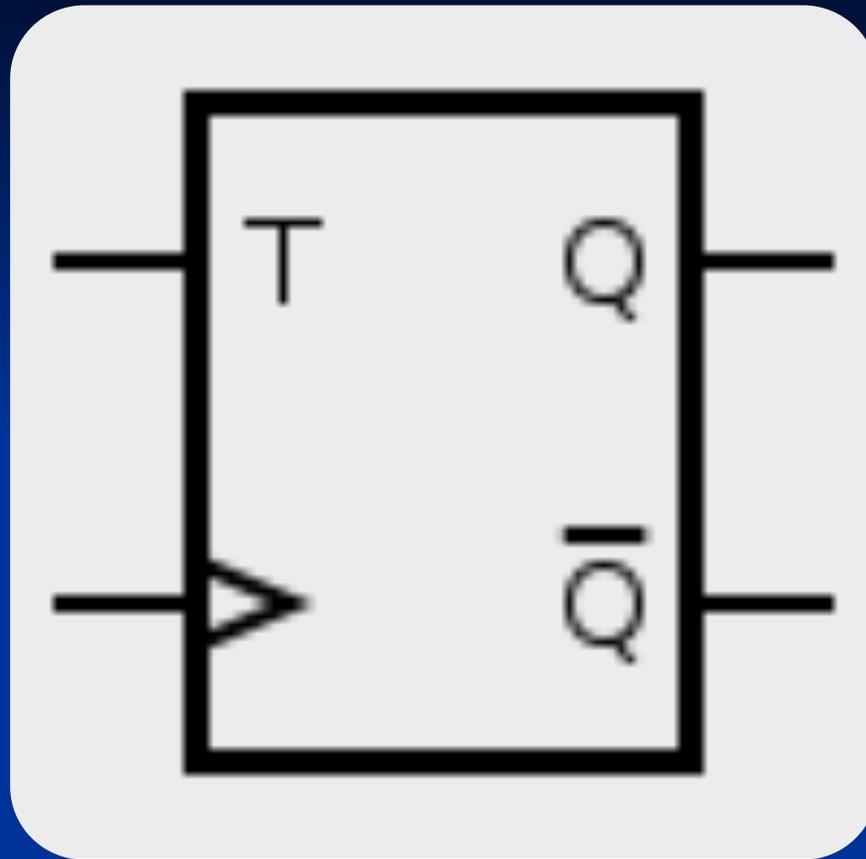
как он является

простейшим счётчиком

до 2.

<b>T</b>	<b>Q(t)</b>	<b>Q(t+1)</b>
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Таблица истинности T триггера



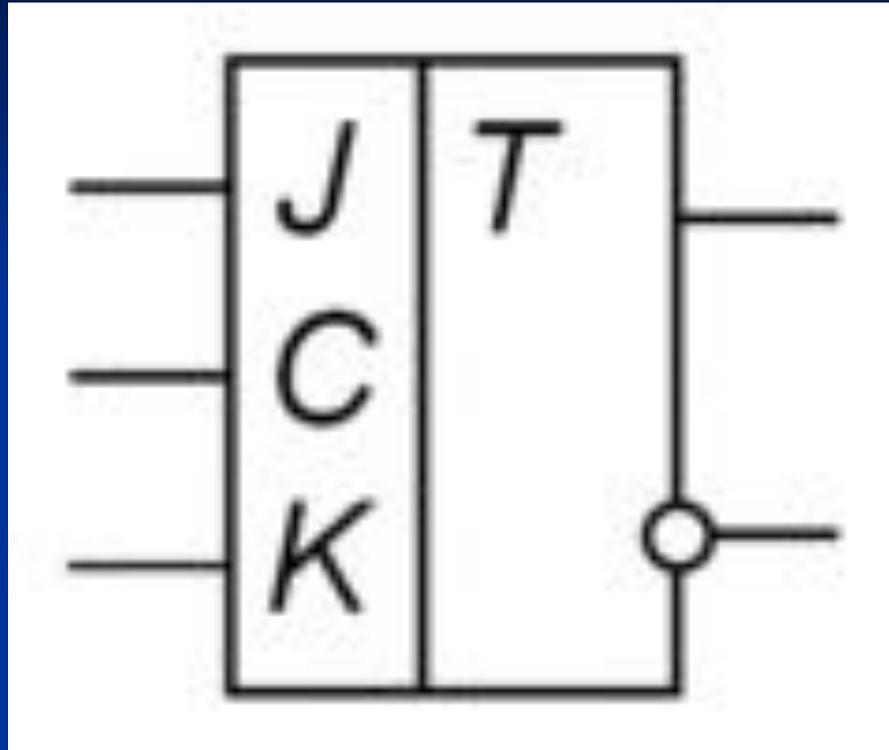
Условное обозначение T триггера

4. **JK-триггер** работает так же как RS-триггер, с одним лишь исключением: при подаче логической единицы на оба входа J и K состояние выхода триггера изменяется на противоположное, т.е. выполняется операция инверсии (чем он отличается от RS-триггеров с доопределённым состоянием, которые строго переходят в логический ноль или единицу, независимо от предыдущего состояния).

Вход **J** (от англ. *Jump* — прыжок) аналогичен входу **S** у RS-триггера. Вход **K** (от англ. *Kill* — отключение) аналогичен входу **R** у RS-триггера. При подаче единицы на вход **J** и нуля на вход **K** выходное состояние триггера становится равным логической единице.

J	K	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Таблица истинности JK триггера



Условное обозначение JK триггера

# Оперативная память компьютера (ОЗУ, RAM)

Сокращенно оперативную память компьютера называют ОЗУ (оперативное запоминающее устройство) или RAM (random access memory — память с произвольным доступом).

Название RAM более точно отражает строение и назначение устройства.

Ядро микросхемы ОЗУ  
состоит из огромного  
количества ячеек  
памяти, которые  
объединены в  
прямоугольные таблицы  
— **матрицы.**

Горизонтальные линейки  
матрицы

называют **строками**, а  
вертикальные **столбцами**.

Весь прямоугольник матрицы  
называется **страницей**, а  
совокупность страниц  
называется **банком**.

Горизонтальные и вертикальные линии являются проводником, на пересечении горизонтальных и вертикальных линий и находятся **ячейки памяти.**

Ячейка памяти состоит из одного **полевого транзистора** и одного **конденсатора.**

Конденсатор выполняет роль хранителя информации, он может хранить один бит данных, то есть либо логическую единицу (когда он заряжен), либо логический ноль (когда он разряжен).

Транзистор выполняет  
роль электрического  
ключа, который либо  
удерживает заряд на  
конденсаторе, либо  
открывает для  
считывания.

Конденсатор имеет  
микроскопические  
размеры и маленькую  
ёмкость. Поэтому не  
может долго хранить заряд  
заданный ему, по причине  
саморазряда.

Для борьбы с этой проблемой, используется **регенерация памяти**, которая, с определённой периодичностью считывает ячейки и записывает заново. Благодаря подобному явлению, эта память и получила название **динамической**.

Если нам нужно прочитать память, то на определённую строку страницы памяти, подаётся сигнал, который открывает транзистор и пропускает электрический заряд, который содержится (или не содержится) в конденсаторе на соответствующий столбец.

К каждому столбцу  
подключен  
чувствительный  
усилитель, который  
реагирует на  
незначительный поток  
электронов выпущенных с  
конденсатора.

Но тут есть нюанс – сигнал, поданный на строку матрицы, открывает все транзисторы данной строки, так как они все подключены на данную строку, и таким образом происходит чтение всей строки.

Исходя из

вышесказанного,

становится ясно, что

строка в памяти, является

минимальной величиной

для чтения — прочитав

одну ячейку, не затронув

другие невозможно.

# Типы оперативной памяти

Принято выделять два вида оперативной памяти: статическую (SRAM) и динамическую (DRAM). **SRAM** используется в качестве кэш-памяти процессора, а **DRAM** - непосредственно в роли оперативной памяти компьютера.

**SRAM** состоит из триггеров. Триггеры могут находиться лишь в двух состояниях: «включен» или «выключен» (хранение бита). Триггер не хранит заряд, поэтому переключение между состояниями происходит очень быстро.

Однако триггеры требуют более сложную технологию производства. Это неминуемо отражается на цене устройства. Во-вторых, триггер, состоящий из группы транзисторов и связей между ними, занимает много места (на микроуровне), в результате SRAM получается достаточно большим устройством.

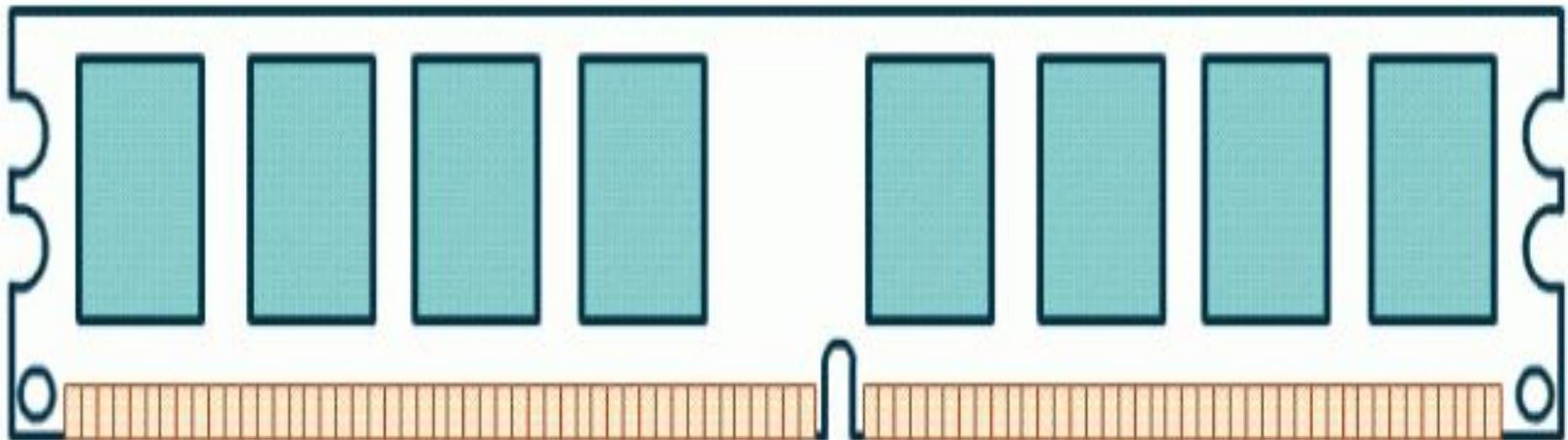
В **DRAM** нет триггеров,  
а бит сохраняется за  
счет использования  
одного транзистора и  
одного конденсатора.  
Получается дешевле и  
компактней.

Однако конденсаторы хранят заряд, а процесс зарядки-разрядки более длительный, чем переключение триггера. Как следствие, DRAM работает медленнее.

Второй минус — это самопроизвольная разрядка конденсаторов. Для поддержания заряда его регенерируют через определенные промежутки времени, на что тратится дополнительное время.

# Вид модуля оперативной памяти

# Схема (упрощенная) модуля оперативной памяти



Внешне ОЗУ ПК представляет собой модуль из микросхем (8 или 16 штук) на печатной плате. Модуль вставляется в специальный разъем на материнской плате.

По конструкции модули оперативной памяти для персональных компьютеров делят на **SIMM** (одностороннее расположение выводов) и **DIMM** (двустороннее расположение выводов).

DIMM обладает  
большой скоростью  
передачи данных, чем  
SIMM. В настоящее  
время преимущественно  
выпускаются DIMM-  
модули.

Основными характеристиками ОЗУ являются **информационная емкость** и **быстродействие**. Емкость оперативной памяти на сегодняшний день выражается в гигабайтах.

Лекция 6.  
Интегральные  
микросхемы (ИМС)

# Вопросы:

1. Понятие ИМС
2. Причины и концепция интеграции
3. Классификация ИМС
4. Технология изготовления ИМС
5. Маркировка ИМС

# 1. Понятие ИМС

# Интегральные микросхемы (ИМС) — это

полупроводниковые изделия,  
состоящие из активных и  
пассивных элементов и  
соединительных проводников,  
которые изготавливаются в  
едином технологическом  
процессе в объеме и на  
поверхности

Все элементы ИМС  
объединяются в единое  
функциональное  
устройство и  
герметизируются в  
стандартном корпусе с  
необходимым числом  
выводов.

*Интегральная  
схема (ИС) - кристалл  
или плёнка с  
электронной схемой.*

*Микросхема (МС) — ИС,  
заключённая в корпус.*

7 мая 1952 года британский радиотехник Джеффри Даммер впервые выдвинул идею объединения множества стандартных электронных компонентов в монолитном кристалле полупроводника.

ИМС имеют следующие **уровни проектирования**:

1. **Топологический** — топологические фотошаблоны для производства.

2. **Физический** — методы реализации одного транзистора (или небольшой группы) в виде легированных зон на кристалле.

3. **Электрический** - принципиальная электрическая схема (транзисторы, конденсаторы, резисторы и т. п.).

4. **Схемо и системотехнический уровень** — схемотехнические схемы (триггеры, компараторы, шифраторы, дешифраторы, АЛУ и т. п.).

5. **Логический** — логическая схема (логические инверторы, элементы ИЛИ-НЕ, И-НЕ и т. п.).

6. **Программный уровень** — позволяет программисту программировать (для микроконтроллеров и процессоров) разрабатываемую модель, используя виртуальную схему.

# 2. Причины и концепция интеграции

Создание ИМС позволило  
решить **2 задачи**,  
стоявшие перед  
разработчиками:  
**повышение надежности**  
**и снижение стоимости**  
создаваемых устройств.

ИМС при массовом производстве значительно дешевле эквивалентных им устройств, собранных на дискретных элементах. Разница в себестоимости составляет от 10 до десятков тысяч раз (чем сложнее устройство, тем оно выгоднее).

Такая высокая экономичность обусловлена групповым технологическим процессом, когда на одной установке одновременно производится до 10000 отдельных микросхем, а каждая ИМС содержит до 10000 отдельных элементов.

Третья проблема, которую помогают разрешить ИМС,— это уменьшение размеров и массы, а также связанные с ними уменьшение энергопотребления и повышение быстродействия ЭВМ.

Плотности монтажа в различных схемах: ламповые — один элемент в 10—100 см<sup>3</sup>, транзисторные — один элемент в 1 см<sup>3</sup>, интегральные — до сотен тыс. элементов в 1 см<sup>3</sup>.

Разработка и производство микросхем определенного типа становятся выгодными только при их массовом выпуске.

# 3. Классификация ИМС

В зависимости от **степени интеграции** применяются следующие названия ИС:

**малая** ИС (МИС) — до 100 элементов,

**средняя** ИС (СИС) — до 1000 элементов,

**большая** ИС (БИС) — до 10000 элементов,

**сверхбольшая** ИС (СБИС) — более 10000 элементов в кристалле.

По **технологии изготовления**  
бывают:

1. **Полупроводниковая микросхема** — все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле (например, кремния, германия, арсенида галлия, оксида гафния).

2. Плёночная ИМС — все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде плёнок:

- толстоплёночная ИМС;
- тонкоплёночная ИМС.

3. Гибридная ИМС  
(микросборка), содержит  
несколько бескорпусных  
диодов, бескорпусных  
транзисторов и(или)  
других электронных  
активных компонентов.

4. Смешанная ИМС — кроме  
полупроводникового  
кристалла содержит  
тонкоплёночные  
(толстоплёночные)  
пассивные элементы,  
размещённые на поверхности  
кристалла.

По

**виду**

**обрабатываемого  
сигнала**

- Аналоговые.
- Цифровые.
- Аналого-цифровые.

# 4. Технология изготовления ИМС

Создание ИМС начинается с подготовки полупроводниковых пластин. Их нарезают из слитков цилиндрической формы с последующими шлифовкой, полировкой и химическим травлением для удаления дефектного верхнего слоя и получения поверхности с шероховатостью 0,03-0,05 мкм.

Диаметр пластин не более 150 мм, толщина около 0,5 мм. Поверхность должна быть идеально чистой.

Технологический цикл может быть разделен на 2 больших этапа — обработки пластин и сборочно-контрольный.

**1-й этап** включают процессы, формирующие на пластинах структуры микросхем, т.е. их элементы и соединения.

Используются процессы:  
эпитаксия, диффузия  
примесей, ионное  
легирование, термическое  
окисление, травление,  
нанесение тонких пленок,  
литография.

**2-й этап** начинается с контроля функционирования ИМС на пластине. Электрические контакты с отдельными ИМС осуществляются с помощью тонких игл, устанавливаемых на контактные площадки ИМС.

После выявления дефектных элементов или участков устраняют их связи со всей схемой, например, пережиганием проводников с помощью остросфокусированного лазерного луча.

После контроля  
пластины разрезают на  
кристаллы,  
соответствующие  
отдельным ИМС, и  
дефектные кристаллы  
отбраковывают.

Кристаллы  
устанавливают в корпус,  
соединяют контактные  
площадки кристаллов с  
выходами корпуса и  
герметизируют корпус.

Затем производят  
контроль и испытания  
готовых микросхем с  
помощью  
автоматизированных  
систем, работающих по  
заданной программе.

# Контрольно-сборочные операции

производятся индивидуально для каждой ИМС в отличие от групповых процессов создания ИМС на этапе обработки пластин, поэтому они в значительной степени (30-40%) определяют трудоемкость изготовления, стоимость и надежность микросхем.

*Эпитаксия* — это процесс наращивания на пластину (подложку) монокристаллического слоя, повторяющего структуру подложки и ее кристаллографическую ориентацию.

*Диффузия примесей* — это технологическая операция легирования — введения примесей в пластину или эпитаксиальную пленку.

*Ионное легирование* — это технологическая операция введение примесей в поверхностный слой пластины путем бомбардировки ионами примесей.

*Термическое* (высокотемпературное) *окисление* позволяет получить на поверхности кремниевых пластин пленку диоксида кремния для создания масок при легировании, формировании подзатворного диэлектрика в МДП-транзисторах, а также изолирующих слоев между пластинами.

*Травление* представляет собой удаление поверхностного слоя не механическим, чаще всего химическим, путем. Его применяют для получения максимально ровной бездефектной поверхности пластин. Бывают жидкостное, сухое анизотропное и др.

*Литография* — это процесс формирования отверстий в масках, создаваемых на поверхности пластины, предназначенных для локального легирования, травления, окисления, напыления и других

# 5. Маркировка ИМС

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ МАРКИРОВКА МИКРОСХЕМ

Типичная маркировка  
**отечественных ИМС** выглядит

следующим

образом: **КР580ВГ80А.**

1-я буква обозначает специфику

ИМС:

**К** – ориентация на массовый

рынок; **Э** – экспортное

исполнение.

## Микросхема общего применения



Если первая буква  
отсутствует, то ИМС  
является  
узкоспециализированной  
и сконфигурирована  
под особые задачи.

2-я буква в маркировке ИМС указывает на тип корпуса:

**А** – пластмассовый (компактный);

**Б** – бескорпусная микросхема;

**Е** – DIP (металл);

**М** – металлокерамика;

**Н** – металлокерамика (компактный);

**Р** – DIP (пластик).

Тип корпуса - пластмассовый DIP



Следующая за типом корпуса цифра характеризует принадлежность ИМС к той или иной конструктивно-технической группе.

1, 4, 8 – гибридные чипы;

1, 5, 6, 7 – п/п-ые чипы;

3 – плёночное исполнение.

## Полупроводниковая микросхема



Следующие две цифры обозначают номер серии.

Порядковый номер серии



Следующие за серией буквы указывают на функциональное назначение ИМС.

**А** – формирователи;

**Б** – модули задержки;

**БМ** – пассивный электронный компонент;

**БР** – активный электронный компонент;

**В** – вычислительный модуль;

**ЕП** – источник питания;

**И** – цифровые электронные  
компоненты;

**К** – коммутационные модули;

**Н** – связки компонентов;

**П** – различного рода преобразователи;

**Р** – запоминающие модули;

**У** – усилители;

**Ф** – фильтры;

**Х** – многофункциональные ИМС.

Контроллер



За порядковым номером серии  
следует номер разработки  
(двухзначный или однозначный).

Порядковый номер разработки



Последний символ в маркировке микросхем указывает на какие-либо особенности в её электрических характеристиках.

Параметры типа А



**ЗАРУБЕЖНАЯ  
МАРКИРОВКА МИКРОСХЕМ  
(ПО СИСТЕМЕ PRO  
ELECTRON)**

По классификации Pro Electron маркировка ИМС состоит из 3-х буквенных символов, за которыми следует числовое значение.

1-я буква указывает на способ преобразования сигнала в схеме:

**T** – аналоговое преобразование;

**S** – цифровое преобразование;

**U** – преобразование смешанного

2-я буква после типа преобразования сигнала не имеет какого-то фиксированного значения (оно выбирается компанией-изготовителем). Исключением является буква «Н», всегда обозначающая гибридный принцип работы ИМС.

В случае с цифровыми электронными компонентами первые 2 буквы обозначают особенности устройства:

**FY** – линейка ЭСЛ;

**GA** – слаботочные TTL чипы;

**GF** – стандартные TTL;

**GJ** – производительные TTL;

**H** – комплементарные

3-й символ в маркировке ИМС указывает на диапазон её рабочих температур:

- A) не номинирован;
- B) от 0 до +70 °C;
- C) от -55 до +125 °C;
- D) от -25 до +70 °C;
- E) от -25 до +85 °C;
- F) от -40 до +85 °C;
- G) от -55 до +85 °C;

После буквы, обозначающей температурный диапазон, следует четырёхзначное число — это **серийный номер чипа**.

Вслед за серийным номером в маркировке микросхемы указывается **тип корпуса**. Данное обозначение может быть двухбуквенным или однобуквенным

Значение первой буквы при двухбуквенной маркировке:

**С** – корпус цилиндрической формы;

**D** – DIP корпус (контакты расположены в два ряда по краям микросхемы);

**E** – DIP корпус с рассеивателем тепла;

**F** – четырёхугольный плоский (двухстороннее размещение

контактов).

**G** – четырёхугольный плоский;

**K** – корпус ТО-3;

**M** – многорядный корпус;

**Q** – симметричное расположение контактов по четырём краям;

**R** – корпус с четырёхрядным расположением контактов и внешним теплоотражателем;

**S** – контакты размещены в один ряд;

**T** – корпус с трёхрядным размещением

Значение второй буквы при  
двухбуквенной маркировке:

**G** – стеклокерамика;

**M** – металл;

**P** – пластик;

**X** – другие материалы.

Если после серийного номера в маркировке ИМС следует одна буква, её нужно толковать следующим образом:

**С** – корпус цилиндрической формы;

**D** – корпус из керамики;

**F** – плоский корпус;

**P** – DIP корпус из пластика;

**Q** – четырёхрядное размещение контактов;

**T** – миниатюрный корпус из пластика;

**U** – бескорпусная ИМС.

Следующие после типа корпуса две цифры — это **серийный номер** электронного компонента. Последняя цифра в маркировке микросхемы — **диапазон её рабочих температур**. Её следует трактовать следующим образом:

- 0) не номинирован;
- 1) от 0 до +70 °C;
- 2) от -55 до +125 °C;
- 3) от -10 до +85 °C;
- 4) от +15 до +55 °C;
- 5) от -25 до +70 °C;
- 6) от -40 до + 85 °C.