

ВИКИПЕДИЯ

# Биполярный транзистор

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

**Биполя́рный транзи́стор** — трёхэлектродный полупроводниковый прибор, один из типов транзисторов. В полупроводниковой структуре сформированы два p-n-перехода, перенос заряда через которые осуществляется носителями двух полярностей — электронами и дырками. Именно поэтому прибор получил название «биполярный» (от англ. *bipolar*), в отличие от полевого (униполярного) транзистора.

Применяется в электронных устройствах для усиления или генерации электрических колебаний, а также в качестве коммутирующего элемента (например, в схемах ТТЛ).

## Содержание

### Устройство

### Принцип работы

### Режимы работы

Нормальный активный режим

Инверсный активный режим

Режим насыщения

Режим отсечки

Барьерный режим

### Схемы включения

Схема включения с общей базой

Схема включения с общим эмиттером

Схема с общим коллектором

### Основные параметры

### Токи в транзисторе

### Биполярный СВЧ-транзистор

### Технологии изготовления транзисторов

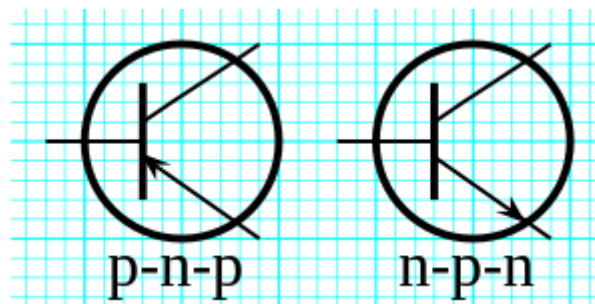
### Применение транзисторов

### См. также

### Примечания

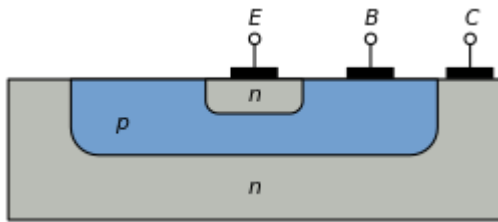
### Ссылки

### Литература



Обозначение биполярных транзисторов на схемах по ГОСТ 2.730<sup>[1]</sup>. Направление стрелки показывает направление тока через эмиттерный переход в активном режиме и служит для указания *n-p-n* и *p-n-p* транзисторов. Окружности символизируют транзистор в индивидуальном корпусе, отсутствие — транзистор в составе микросхемы.

## Устройство



Упрощённая схема поперечного разреза планарного биполярного n-p-n транзистора.

Биполярный транзистор состоит из трёх полупроводниковых слоёв с чередующимся типом примесной проводимости: эмиттера (обозначается «Э», англ. *E*), базы («Б», англ. *B*) и коллектора («К», англ. *C*). В зависимости от порядка чередования слоёв различают *n-p-n* (эмиттер —

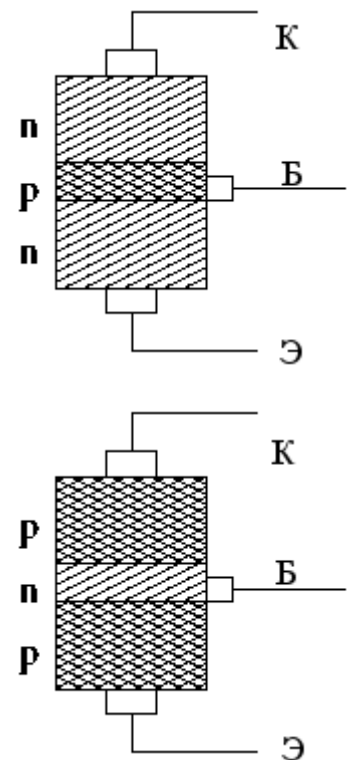
*n*-полупроводник, база — *p*-полупроводник, коллектор — *n*-полупроводник) и *p-n-p* транзисторы. К каждому из слоёв подключены проводящие невыпрямляющие контакты<sup>[2]</sup>.

С точки зрения типов проводимостей эмиттерный и коллекторный слои не различимы, но при изготовлении они существенно различаются степенью легирования для улучшения электрических параметров прибора. Коллекторный слой легируется слабо, что повышает допустимое коллекторное напряжение. Эмиттерный слой — сильно легированный: величина пробойного обратного напряжения эмиттерного перехода не критична, так как обычно в электронных схемах транзисторы работают с прямосмещённым эмиттерным переходом. Кроме того, сильное легирование эмиттерного слоя обеспечивает лучшую инжекцию неосновных носителей в базовый слой, что увеличивает коэффициент передачи по току в схемах с общей базой. Слой базы легируется слабо, так как располагается между эмиттерным и коллекторным слоями и должен иметь большое электрическое сопротивление.

Общая площадь перехода база-эмиттер выполняется значительно меньше площади перехода коллектор-база, что увеличивает вероятность захвата неосновных носителей из базового слоя и улучшает коэффициент передачи. Так как в рабочем режиме переход коллектор-база обычно включён с обратным смещением, в нём выделяется основная доля тепла, рассеиваемого прибором, и повышение его площади способствует лучшему охлаждению кристалла. Поэтому на практике биполярный транзистор общего применения является несимметричным устройством (то есть инверсное включение, когда меняют местами эмиттер и коллектор, нецелесообразно).

Для повышения частотных параметров (быстродействия) толщину базового слоя делают меньше, так как этим, в том числе, определяется время «пролёта» (диффузии в бездрейфовых приборах) неосновных носителей. Но при снижении толщины базы снижается предельное коллекторное напряжение, поэтому толщину базового слоя выбирают исходя из разумного компромисса.

В первых транзисторах в качестве полупроводникового материала использовался металлический германий. Полупроводниковые приборы на его основе имеют ряд недостатков, и в настоящее время (2015 г.) биполярные транзисторы изготавливают в основном из монокристаллического кремния и монокристаллического арсенида галлия.



Простейшая наглядная схема устройства транзистора

Благодаря очень высокой подвижности носителей в арсениде галлия приборы на его основе обладают высоким быстродействием и используются в сверхбыстродействующих логических схемах и в схемах СВЧ-усилителей.

## Принцип работы

В активном усилительном режиме работы транзистор включён так, что его эмиттерный переход смещён в прямом направлении<sup>[3]</sup> (открыт), а коллекторный переход смещён в обратном направлении (закрит).

В транзисторе типа **n-p-n**<sup>[4]</sup> основные носители заряда в эмиттере (электроны) проходят через открытый переход эмиттер-база (инжектируются) в область базы. Часть этих электронов рекомбинирует с основными носителями заряда в базе (дырками). Однако из-за того, что базу делают очень тонкой и сравнительно слабо легированной, бо́льшая часть электронов, инжектированных из эмиттера, диффундирует в область коллектора, так как время рекомбинации относительно велико<sup>[5]</sup>. Сильное электрическое поле обратносмещённого коллекторного перехода захватывает неосновные носители из базы (электроны) и переносит их в коллекторный слой. Ток коллектора, таким образом, практически равен току эмиттера, за исключением небольшой потери на рекомбинацию в базе, которая и образует ток базы ( $I_э = I_б + I_к$ ).

Коэффициент  $\alpha$ , связывающий ток эмиттера и ток коллектора ( $I_к = \alpha I_э$ ), называется **коэффициентом передачи тока эмиттера**. Численное значение коэффициента  $\alpha = 0,9 - 0,999$ . Чем больше коэффициент, тем эффективней транзистор передаёт ток. Этот коэффициент мало зависит от напряжения коллектор-база и база-эмиттер. Поэтому в широком диапазоне рабочих напряжений ток коллектора пропорционален току базы, коэффициент пропорциональности равен  $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$ , от 10 до 1000. Таким образом, малый ток базы управляет значительно бо́льшим током коллектора.

## Режимы работы

### Нормальный активный режим

Переход эмиттер-база включён в прямом направлении<sup>[3]</sup> (открыт), а переход коллектор-база — в обратном (закрит):

$U_{эб} < 0$ ;  $U_{кб} > 0$  (для транзистора *n-p-n* типа), для транзистора *p-n-p* типа условие будет иметь вид  $U_{эб} > 0$ ;  $U_{кб} < 0$ .

### Инверсный активный режим

Эмиттерный переход имеет обратное смещение, а коллекторный переход — прямое:  $U_{кб} < 0$ ;  $U_{эб} > 0$  (для транзистора *n-p-n* типа).

### Режим насыщения

Оба *p-n* перехода смещены в прямом направлении (оба открыты). Если эмиттерный и коллекторный *p-n*-переходы подключить к внешним источникам в прямом направлении, транзистор будет находиться в режиме насыщения. Диффузионное электрическое поле эмиттерного и коллекторного переходов будет частично ослабляться электрическим полем,

создаваемым внешними источниками  $U_{ЭБ}$  и  $U_{КБ}$ . В результате уменьшится потенциальный барьер, ограничивавший диффузию основных носителей заряда, и начнётся проникновение (инжекция) дырок из эмиттера и коллектора в базу, то есть через эмиттер и коллектор транзистора потекут токи, называемые токами насыщения эмиттера ( $I_{Э.нас}$ ) и коллектора ( $I_{К.нас}$ ).

**Напряжение насыщения коллектор-эмиттер** ( $U_{КЭ.нас}$ ) — это падение напряжения на открытом транзисторе (смысловой аналог  $R_{си}$  отк у полевых транзисторов).

Аналогично **напряжение насыщения база-эмиттер** ( $U_{БЭ.нас}$ ) — это падение напряжения между базой и эмиттером на открытом транзисторе.

Напряжения на эмиттере, базе, коллекторе ( $U_E, U_B, U_C$ )	Смещение перехода база-эмиттер для типа n-p-n	Смещение перехода база-коллектор для типа n-p-n	Режим для типа n-p-n
$U_E < U_B < U_C$	прямое	обратное	нормальный активный режим
$U_E < U_B > U_C$	прямое	прямое	режим насыщения
$U_E > U_B < U_C$	обратное	обратное	режим отсечки
$U_E > U_B > U_C$	обратное	прямое	инверсный активный режим
Напряжения на эмиттере, базе, коллекторе ( $U_E, U_B, U_C$ )	Смещение перехода база-эмиттер для типа p-n-p	Смещение перехода база-коллектор для типа p-n-p	Режим для типа p-n-p
$U_E < U_B < U_C$	обратное	прямое	инверсный активный режим
$U_E < U_B > U_C$	обратное	обратное	режим отсечки
$U_E > U_B < U_C$	прямое	прямое	режим насыщения
$U_E > U_B > U_C$	прямое	обратное	нормальный активный режим

## Режим отсечки

В данном режиме коллекторный *p-n* переход смещён в обратном направлении, а на эмиттерный переход может быть подано как обратное, так и прямое смещение, не превышающее порогового значения, при котором начинается эмиссия неосновных носителей заряда в область базы из эмиттера (для кремниевых транзисторов приблизительно 0,6—0,7 В).

Режим отсечки соответствует условию  $U_{ЭБ} < 0,6—0,7$  В, или  $I_B = 0$ <sup>[6][7]</sup>.

## Барьерный режим

В данном режиме **база** транзистора по постоянному току соединена накоротко или через небольшой резистор с его **коллектором**, а в **коллекторную** или в **эмиттерную** цепь транзистора включается резистор, задающий ток через транзистор. В таком включении транзистор представляет собой своеобразный диод, включённый последовательно с токозадающим резистором. Подобные схемы каскадов отличаются малым количеством комплектующих, хорошей развязкой по высокой частоте, большим рабочим диапазоном температур, нечувствительностью к параметрам транзисторов.

## Схемы включения

Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями:

- Коэффициент усиления по току  $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}}$ .
- Входное сопротивление  $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}}$ .

## Схема включения с общей базой

- Среди всех трёх конфигураций обладает наименьшим входным и наибольшим выходным сопротивлением. Имеет коэффициент усиления по току, близкий к единице, и большой коэффициент усиления по напряжению. Не инвертирует фазу сигнала.
- Коэффициент усиления по току:  $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}} = I_{\text{К}}/I_{\text{Э}} = \alpha$  [ $\alpha < 1$ ].
- Входное сопротивление  $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}} = U_{\text{ЭБ}}/I_{\text{Э}}$ .

Входное сопротивление (входной импеданс) усилительного каскада с общей базой мало зависит от тока эмиттера, при увеличении тока — снижается и не превышает единиц — сотен Ом для маломощных каскадов, так как входная цепь каскада при этом представляет собой открытый эмиттерный переход транзистора.

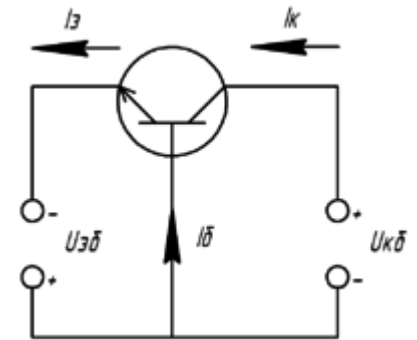


Схема включения с общей базой.

## Достоинства

- Хорошие температурные и широкий частотный диапазон, так как в этой схеме подавлен эффект Миллера.
- Высокое допустимое коллекторное напряжение.

## Недостатки

- Малое усиление по току, равное  $\alpha$ , так как  $\alpha$  всегда немного менее 1
- Малое входное сопротивление

## Схема включения с общим эмиттером

- Коэффициент усиления по току:  $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}} = I_{\text{К}}/I_{\text{Б}} = I_{\text{К}}/(I_{\text{Э}} - I_{\text{К}}) = \alpha/(1 - \alpha) = \beta$  [ $\beta \gg 1$ ].
- Входное сопротивление:  $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}} = U_{\text{БЭ}}/I_{\text{Б}}$ .

## Достоинства

- Большой коэффициент усиления по току.
- Большой коэффициент усиления по напряжению.
- Наибольшее усиление мощности.
- Можно обойтись одним источником питания.
- Выходное переменное напряжение инвертируется относительно входного.

## Недостатки

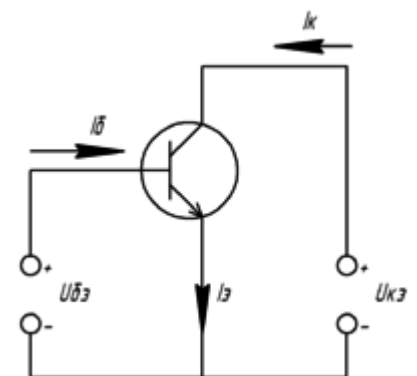


Схема включения с общим эмиттером.

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{К}}$$

$$I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Б}}$$

$$U_{\text{ВХ}} = U_{\text{БЭ}}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{кЭ}}$$

- Имеет меньшую температурную стабильность. Частотные свойства такого включения по сравнению со схемой с общей базой существенно хуже, что обусловлено эффектом Миллера.

## Схема с общим коллектором

- Коэффициент усиления по току:  $I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Э}}/I_{\text{Б}} = I_{\text{Э}}/(I_{\text{Э}} - I_{\text{К}}) = 1/(1 - \alpha) = \beta + 1$  [ $\beta \gg 1$ ].
- Входное сопротивление:  $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}} = (U_{\text{БЭ}} + U_{\text{КЭ}})/I_{\text{Б}}$ .

## Достоинства

- Большое входное сопротивление.
- Малое выходное сопротивление.

## Недостатки

- Коэффициент усиления по напряжению немного меньше 1.

Схему с таким включением часто называют «*эмиттерным повторителем*».

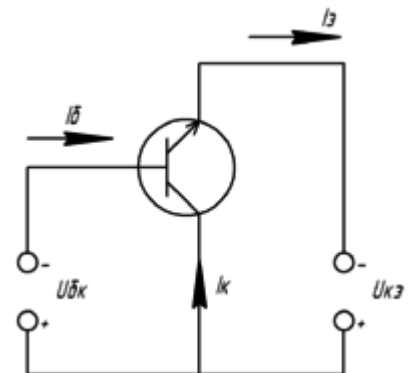


Схема включения с общим коллектором.

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{Э}}$$

$$I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Б}}$$

$$U_{\text{ВХ}} = U_{\text{Бк}}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{Кэ}}$$

## Основные параметры

- Коэффициент передачи по току.
- Входное сопротивление.
- Выходная проводимость.
- Обратный ток коллектор-эмиттер.
- Время включения.
- Предельная частота коэффициента передачи тока базы.
- Обратный ток коллектора.
- Максимально допустимый ток.
- Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером.

Параметры транзистора делятся на собственные (первичные) и вторичные. Собственные параметры характеризуют свойства транзистора, независимо от схемы его включения. В качестве основных собственных параметров принимают:

- коэффициент усиления по току  $\alpha$ ;
- сопротивления эмиттера, коллектора и базы переменному току  $r_{\text{Э}}$ ,  $r_{\text{К}}$ ,  $r_{\text{Б}}$ , которые представляют собой:
  - $r_{\text{Э}}$  — сумму сопротивлений эмиттерной области и эмиттерного перехода;
  - $r_{\text{К}}$  — сумму сопротивлений коллекторной области и коллекторного перехода;
  - $r_{\text{Б}}$  — поперечное сопротивление базы.

Вторичные параметры различны для различных схем включения транзистора и, вследствие его нелинейности, справедливы только для низких частот и малых амплитуд сигналов. Для вторичных параметров предложено несколько систем параметров и соответствующих им эквивалентных схем. Основными считаются смешанные (гибридные) параметры, обозначаемые буквой «*h*».

**Входное сопротивление** — сопротивление транзистора входному переменному току при коротком замыкании на выходе. Изменение входного тока является результатом изменения входного напряжения, без влияния обратной связи от выходного напряжения.

$$h_{11} = U_{m1}/I_{m1}, \text{ при } U_{m2} = 0.$$

**Коэффициент обратной связи по напряжению**

показывает, какая доля выходного переменного напряжения передаётся на вход транзистора вследствие обратной связи в нём. Во входной цепи транзистора нет переменного тока, и изменение напряжения на входе происходит только в результате изменения выходного напряжения.

$$h_{12} = U_{m1}/U_{m2}, \text{ при } I_{m1} = 0.$$

**Коэффициент передачи тока** (коэффициент усиления по току) показывает усиление переменного тока при нулевом сопротивлении нагрузки. Выходной ток зависит только от входного тока без влияния выходного напряжения.

$$h_{21} = I_{m2}/I_{m1}, \text{ при } U_{m2} = 0.$$

**Выходная проводимость** — внутренняя проводимость для переменного тока между выходными зажимами. Выходной ток изменяется под влиянием выходного напряжения.

$$h_{22} = I_{m2}/U_{m2}, \text{ при } I_{m1} = 0.$$

Зависимость между переменными токами и напряжениями транзистора выражается уравнениями:

$$\begin{aligned} U_{m1} &= h_{11}I_{m1} + h_{12}U_{m2}; \\ I_{m2} &= h_{21}I_{m1} + h_{22}U_{m2}. \end{aligned}$$

В зависимости от схемы включения транзистора к цифровым индексам  $h$ -параметров добавляются буквы: «э» — для схемы ОЭ, «б» — для схемы ОБ, «к» — для схемы ОК.

Для схемы ОЭ:  $I_{m1} = I_{mб}$ ,  $I_{m2} = I_{mк}$ ,  $U_{m1} = U_{mб-э}$ ,  $U_{m2} = U_{mк-э}$ . Например, для данной схемы:

$$h_{21э} = I_{mк}/I_{mб} = \beta.$$

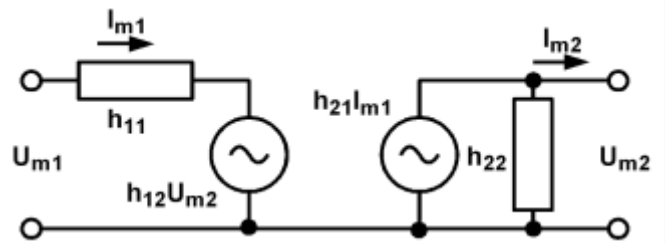
Для схемы ОБ:  $I_{m1} = I_{mэ}$ ,  $I_{m2} = I_{mк}$ ,  $U_{m1} = U_{mэ-б}$ ,  $U_{m2} = U_{mк-б}$ .

Собственные параметры транзистора связаны с  $h$ -параметрами, например для схемы ОЭ:

$$h_{11э} = r_{\delta} + \frac{r_{э}}{1 - \alpha};$$

$$h_{12э} \approx \frac{r_{э}}{r_{к}(1 - \alpha)};$$

$$h_{21э} = \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha};$$



Эквивалентная схема биполярного транзистора с использованием  $h$ -параметров.

$$h_{22э} \approx \frac{1}{r_k(1 - \alpha)}$$

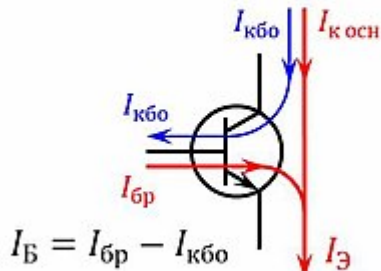
С повышением частоты заметное влияние на работу транзистора начинает оказывать ёмкость коллекторного перехода  $C_k$ . Его реактивное сопротивление уменьшается, шунтируя нагрузку и, следовательно, уменьшая коэффициенты усиления  $\alpha$  и  $\beta$ . Сопротивление эмиттерного перехода  $C_э$  также снижается, однако он шунтируется малым сопротивлением перехода  $r_э$  и в большинстве случаев может не учитываться. Кроме того, при повышении частоты происходит дополнительное снижение коэффициента  $\beta$  в результате отставания фазы тока коллектора от фазы тока эмиттера, которое вызвано инерционностью процесса перемещения носителей через базу от эмиттерного перехода к коллекторному и инерционностью процессов накопления и рассасывания заряда в базе. Частоты, на которых происходит снижение коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  на 3 дБ, называются **граничными частотами коэффициента передачи тока** для схем ОБ и ОЭ соответственно.

В импульсном режиме ток коллектора изменяется с запаздыванием на время задержки  $\tau_з$  относительно импульса входного тока, что вызвано конечным временем пробега носителей через базу. По мере накопления носителей в базе ток коллектора нарастает в течение длительности фронта  $\tau_ф$ . **Временем включения** транзистора называется  $\tau_{вкл} = \tau_з + \tau_ф$ .

## Токи в транзисторе

Токи в биполярном транзисторе имеют две основных составляющих.

- Ток основных носителей эмиттера  $I_э$ , который частично проходит в коллектор, образуя ток основных носителей коллектора  $I_{к осн}$ , частично рекомбинирует с основными носителями базы, образуя рекомбинантный ток базы  $I_{бр}$ .
- Ток неосновных носителей коллектора, который течёт через обратнo смещённый коллекторный переход, образуя обратный ток коллектора  $I_{кбо}$ .

$$\begin{aligned} I_K &= I_{к осн} + I_{кбо} = \\ &= \beta I_{бр} + I_{кбо} = \\ &= \beta I_B + (\beta + 1) I_{кбо} \end{aligned}$$


$$I_B = I_{бр} - I_{кбо}$$

$$\begin{aligned} I_Э &= I_K + I_B = \\ &= (\beta + 1)(I_B + I_{кбо}) \end{aligned}$$

Токи в биполярном транзисторе

## Биполярный СВЧ-транзистор

Биполярные СВЧ-транзисторы (БТ СВЧ) служат для усиления колебаний с частотой свыше 0,3 ГГц<sup>[8]</sup>. Верхняя граница частот БТ СВЧ с выходной мощностью более 1 Вт составляет около 10 ГГц. Большинство мощных БТ СВЧ по структуре относится к n-p-n типу<sup>[9]</sup>. По методу формирования переходов БТ СВЧ являются эпитаксиально-планарными. Все БТ СВЧ, кроме самых маломощных, имеют многоэмиттерную структуру (гребёнчатую, сетчатую)<sup>[10]</sup>. По мощности БТ СВЧ разделяются на маломощные (рассеиваемая мощность до 0,3 Вт), средней мощности (от 0,3 до 1,5 Вт) и мощные (свыше 1,5 Вт)<sup>[11]</sup>. Выпускается большое число узкоспециализированных типов БТ СВЧ<sup>[11]</sup>.

## Технологии изготовления транзисторов

- Эпитаксиально-планарная

- Диффузионно-сплавная.

## Применение транзисторов

---

- Усилители, каскады усиления
- Генератор сигналов
- Модулятор
- Демодулятор (Детектор)
- Инвертор (лог. элемент)
- Микросхемы на транзисторной логике (см. транзисторно-транзисторная логика, диодно-транзисторная логика, резисторно-транзисторная логика)

## См. также

---

- Изобретение транзистора
- Униполярный транзистор

## Примечания

---

1. ГОСТ 2.730-73 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые. (http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=133368) Дата обращения: 4 ноября 2020. Архивировано (https://web.archive.org/web/20180822114608/http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=133368) 22 августа 2018 года.
2. Невыпрямляющий, или омический контакт — контакт двух разнородных материалов, вольт-амперная характеристика которого симметрична при смене полярности и практически линейна.
3. Прямое смещение р-п-перехода означает, что область р-типа имеет *положительный* потенциал относительно области п-типа.
4. Для случая **р-п-р** все рассуждения аналогичны с заменой слова «электроны» на «дырки» и наоборот, а также с заменой всех напряжений на противоположное по знаку.
5. Лаврентьев Б. Ф. Схемотехника электронных средств (https://archive.org/details/isbn\_9785769558986). — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — С. 53 (https://archive.org/details/isbn\_9785769558986/page/n51)—68. — 336 с. — ISBN 978-5-7695-5898-6.
6. Лекция № 7 — Биполярный транзистор как активный четырёхполюсник, h-параметры (http://1-el.umi.ru/lekcii/lekcija\_7\_-bipolyarnyj\_tranzistor\_kak\_aktivnyj\_chetyrehpolyusnik\_h-parametry/). Дата обращения: 25 марта 2016. Архивировано (https://web.archive.org/web/20160407014239/http://1-el.umi.ru/lekcii/lekcija\_7\_-bipolyarnyj\_tranzistor\_kak\_aktivnyj\_chetyrehpolyusnik\_h-parametry/) 7 апреля 2016 года.
7. Физические основы электроники: метод. указания к лабораторным работам / сост. В. К. Усольцев. — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. — 50 с.:ил.
8. Кулешов, 2008, с. 284.
9. Кулешов, 2008, с. 285.
10. Кулешов, 2008, с. 286.
11. Кулешов, 2008, с. 292.

## Ссылки

---

- Онлайн-справочник параметров биполярных транзисторов (http://www.paratran.com) Архивная копия (https://web.archive.org/web/20220315060211/http://www.paratran.com/) от 15 марта 2022 на Wayback Machine

- [Принцип работы биполярных транзисторов \(https://web.archive.org/web/20031107171920/http://www.pilab.ru/csi/AUK/Microelectr/page41.html\)](https://web.archive.org/web/20031107171920/http://www.pilab.ru/csi/AUK/Microelectr/page41.html)

## Литература

---

- *Спиридонов Н.С.* Основы теории транзисторов. — *К.*: Техника, 1969. — 300 с.
  - *Кулешов В.Н., Удалов Н.Н., Богачев В.М. и др.* Генерирование колебаний и формирование радиосигналов. — *М.*: МЭИ, 2008. — 416 с. — ISBN 978-5-383-00224-7.
- 

Источник — [https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Биполярный\\_транзистор&oldid=133314647](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Биполярный_транзистор&oldid=133314647)

---

**Эта страница в последний раз была отредактирована 29 сентября 2023 в 07:38.**

Текст доступен по лицензии Creative Commons «С указанием авторства — С сохранением условий» (CC BY-SA); в отдельных случаях могут действовать дополнительные условия.

Wikipedia® — зарегистрированный товарный знак некоммерческой организации Фонд Викимедиа (Wikimedia Foundation, Inc.)