

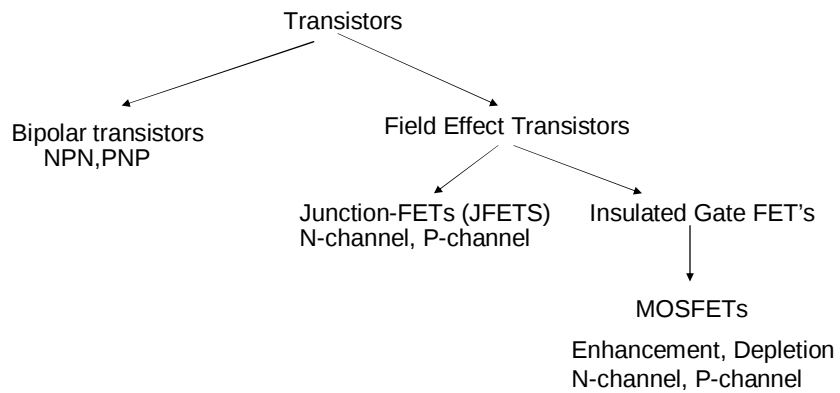
ĐHBK Tp HCM-Khoa Đ-ĐT
BMĐT
GVPT: Hồ Trung Mỹ
Môn học: Dụng cụ bán dẫn

Chương 5

BJT

1

Transistors (**Transfer Resistor**)



2

BJT

- Giới thiệu
- Bức tranh ý niệm
- Đặc tính tĩnh của BJT
- Các tham số
- Các hiệu ứng thứ cấp
- Các đặc tuyến của BJT
- Mô hình tín hiệu nhỏ của BJT – TD: Các mạch KĐ
- BJT ở tần số cao
- Các loại BJT khác
- Các ứng dụng của BJT: Gương dòng điện, ...

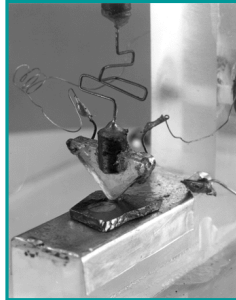
3

Giới thiệu

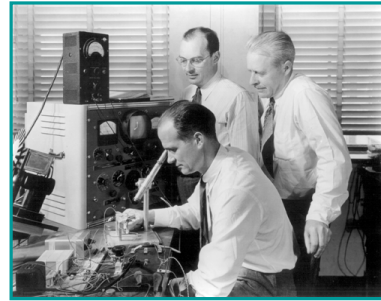
- BJT được phát minh vào năm 1947 do William Shockley, John Bardeen và Walter Brittain tại Bell Labs (Mỹ)
- BJT=Bipolar Junction Transistor
- Transistor = **T**ransfer **r**esistor
- BJT là dụng cụ tích cực có 3 cực.
- BJT là dụng cụ 3 cực đầu tiên của các dụng cụ bán dẫn và tiếp tục là dụng cụ được chọn cho nhiều ứng dụng số và vi ba (microwave). Một thập niên sau khi BJT được phát minh, nó vẫn giữ dụng cụ 3 cực duy nhất trong các ứng dụng thương mại. Tuy nhiên khi giao tiếp Si-SiO₂ được cải tiến, MOSFET đã trở nên thống trị. Hiện nay HBT (Heterojunction Bipolar Transistor=transistor lưỡng cực chuyển tiếp dị thể) có hiệu năng rất cao về tần số và độ lợi.
- Các ứng dụng của BJT: KĐ, mạch CS, mạch logic,...
- BJT vẫn còn được ưa chuộng trong 1 số ứng dụng mạch số và analog do tốc độ nhanh và độ lợi lớn. Tuy nhiên nó khuyết điểm là có tiêu tán CS lớn và tích hợp nhỏ trong IC.

4

BJT

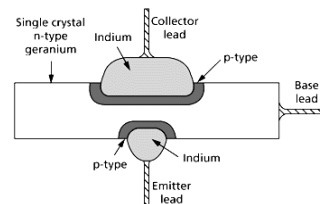
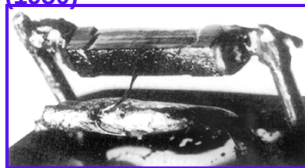


Original
point-contact
transistor
(1947)



Inventors of the transistor:
William Shockley, John Bardeen
and Walter Brattain

First grown transistor
(1950)

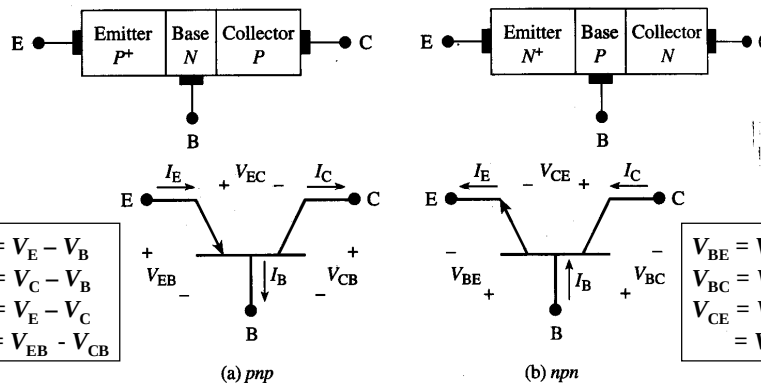


5

Có 2 loại BJT: NPN và PNP

Ký hiệu:

- E = Emitter=Phát, B=Base=Nền, và C=Collector=Thu
- J_E : chuyển tiếp PN giữa B và E
- J_C : chuyển tiếp PN giữa B và C

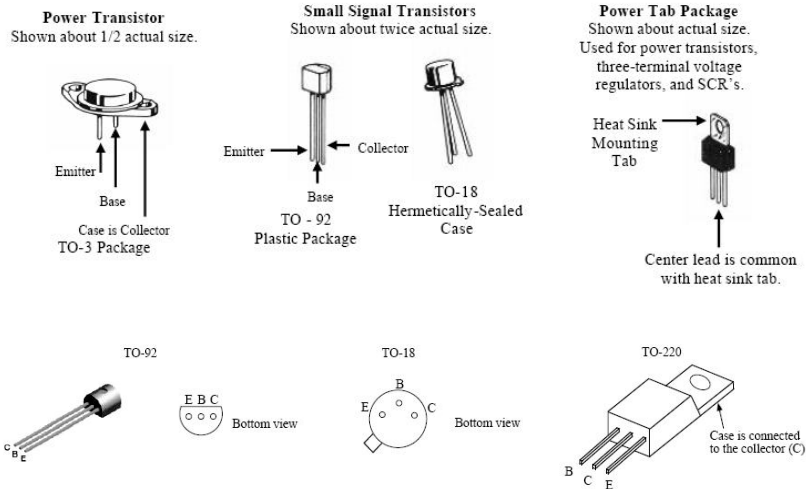


$$I_E = I_B + I_C$$

6

Transistor Outlines (TO)

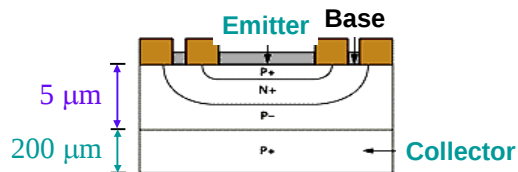
For some transistors, the pin function can be identified from packaging:



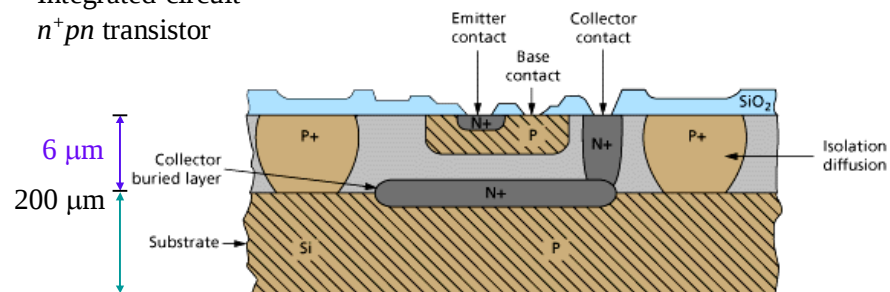
7

Types of transistors

- Discrete (double-diffused) p^+np transistor

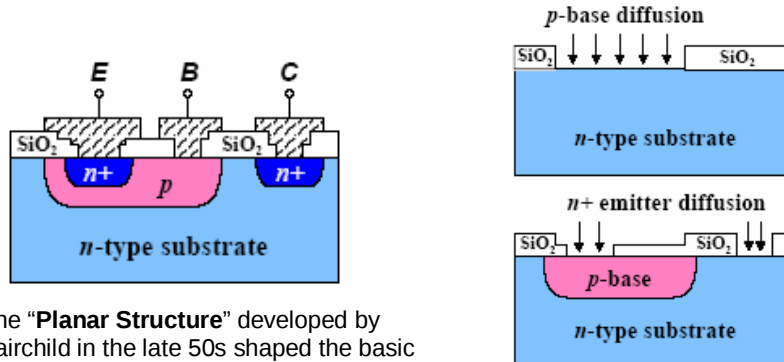


- Integrated-circuit n^+pn transistor



8

BJT Structure - Planar

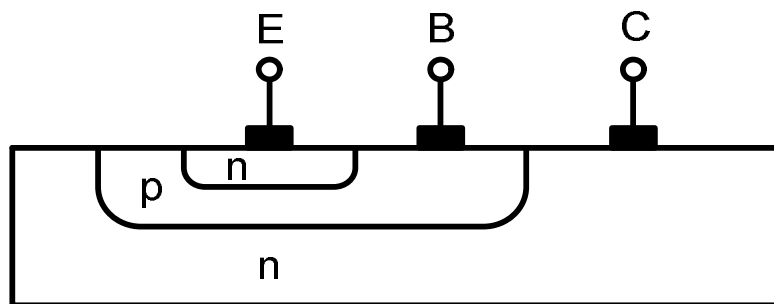


The "**Planar Structure**" developed by Fairchild in the late 50s shaped the basic structure of the BJT, even up to the present day.

- In the planar process, all steps are performed from the surface of the wafer

9

- BJTs are usually constructed vertically
 - Controlling depth of the emitter's *n* doping sets the base width



10

Bức tranh ý niệm

So sánh BJT và FET

BJT	FET
Dụng cụ dựa trên diode mà thường bị chặn, trừ khi các cực điều khiển (Base và Emitter) được phân cực thuận.	Sự dẫn điện được điều khiển bằng điện trường được tạo bởi điện áp đưa vào các cực điều khiển.
Vì vậy điều khiển là dòng điện, và BJT bản chất là mạch khuếch đại dòng.	Vì vậy điều khiển không có dòng điện và FET là dụng cụ được điều khiển bằng điện áp.

11

BJT và FET (1/2)

Điều khiển luồng [nước]
bằng sự thay đổi thế năng



Luồng chất lỏng

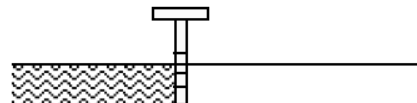


Tăng thế năng làm dừng
luồng chất lỏng
Trạng thái OFF

Điều khiển luồng [nước]
bằng thay đổi độ rộng kênh



Luồng chất lỏng trong miền bị giới hạn



Độ rộng được điều khiển bằng "cổng"
Trạng thái OFF

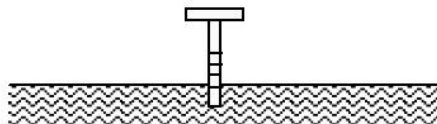
12

BJT và FET (2/2)



Giảm thể năng cho phép
luồng chất lỏng chảy

BJT, HBT →
Thể năng được điều khiển
bằng **điện áp nền-phát**



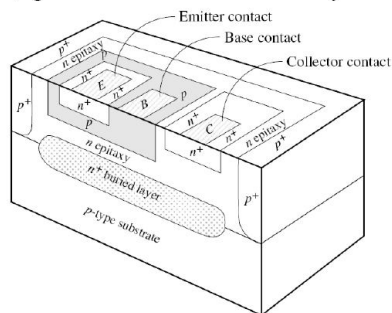
Tăng độ rộng kênh làm cho
chất lỏng chảy

FET →
Độ rộng kênh dẫn được điều
 khiển bằng **phân cực cổng**

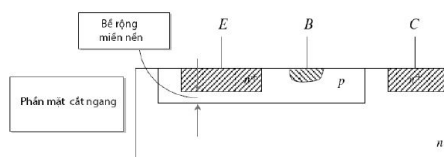
13

5.1 Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động của BJT

BJT dùng 2 chuyển tiếp PN mắc ngược nhau để có hệ số khuếch đại cao và hoạt động tần số cao. Hình #6.3 cho thấy cấu tạo của BJT NPN và mặt cắt ngang của nó.



a) Cấu tạo của BJT



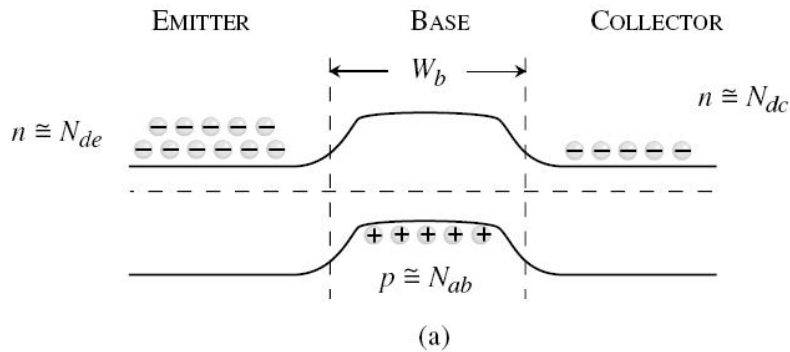
b) Cách nhìn đơn giản của mặt cắt ngang

Hình #6.3

Để hiểu làm thế nào BJT có độ lợi, ta xét BJT NPN ở chế độ tích cực thuận, nghĩa là chuyển tiếp J_E được phân cực thuận và chuyển tiếp J_C được phân cực ngược. Khi đó nó có giản đồ năng lượng như ở hình #6.4.

14

Giản đồ năng lượng của BJT NPN chưa phân cực (ở đkcb)



- Nồng độ N_D ở Emitter $\gg N_D$ ở Collector
- Không có dòng điện
- 2 diode đầu ngược nhau

15

Giản đồ năng lượng của BJT khi được phân cực ở chế độ tích cực thuận, ở đó J_E được phân cực thuận và J_C được phân cực ngược.

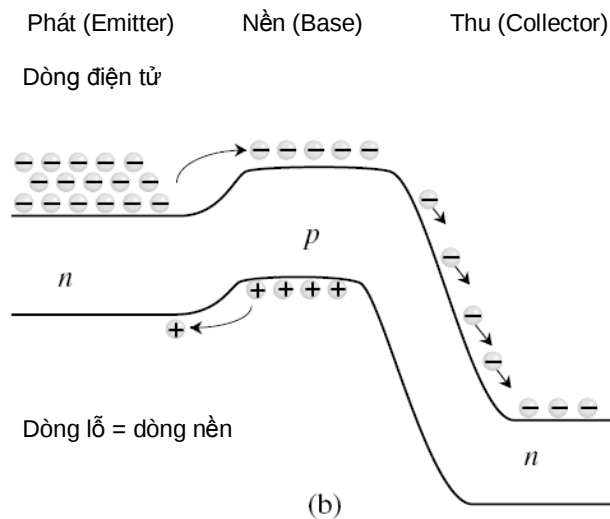
J_E được phân cực thuận:

- Điện tử được bơm từ E vào B.
- Điện tử đi ngang miền nền vào miền thu.

Độ rộng miền nền nhỏ hơn chiều dài khuếch tán L_N để điện tử có thể tới được J_C

J_C được phân cực ngược:

- Điện tử được kéo vào miền thu do điện trường ngược



16

- Các yêu cầu quan trọng đối với dụng cụ điện tử:
 - Hệ số KĐ cao và fanout lớn.
 - Ngõ vào nên được cách ly với ngõ ra
- Nhắc lại tiếp xúc PN với phân cực thuận và phân cực ngược:
 - Dòng ngược tiếp xúc PN được tạo bởi hạt dẫn thiểu số
 - Dòng thuận tiếp xúc PN phụ thuộc vào sự phun hạt dẫn

17

Hệ số vận chuyển miền nền B và hiệu suất phát γ_e

- $I_C = B I_{En}$
- hiệu suất phát γ_e

$$\gamma_e = \frac{I_{En}}{I_{En} + I_{Ep}}$$

- Tỷ số truyền đạt dòng điện α

$$\frac{I_C}{I_E} = \frac{BI_{En}}{I_{En} + I_{Ep}} = B\gamma_e = \alpha$$

18

Độ lợi dòng β

- Dòng nền được tạo bởi dòng lỗ được phun vào E (I_{Ep}) và dòng lỗ do tái hợp trong miền nền với các điện tử được phun vào từ E ($= (1-B)I_{En}$).
Như vậy

$$I_B = I_{Ep} + (1 - B)I_{En}$$

- Độ lợi dòng E chung β (có giá trị 50 $\rightarrow$ 200)

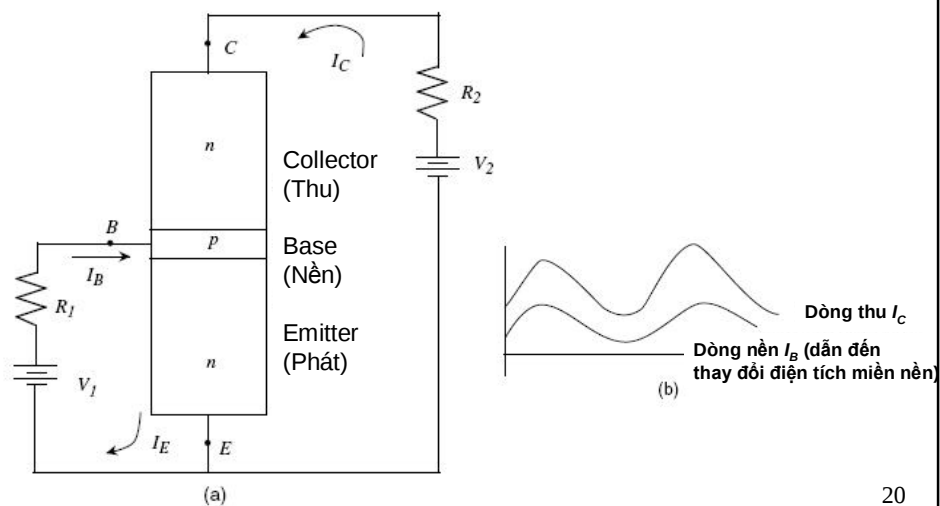
$$\begin{aligned}\beta = \frac{I_C}{I_B} &= \frac{BI_{En}}{I_{Ep} + (1 - B)I_{En}} = \frac{B(I_{En}/I_E)}{1 - B(I_{En}/I_E)} \\ &= \frac{B\gamma_e}{1 - B\gamma_e}\end{aligned}$$

và

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

19

Sự thay đổi trong dòng điện nền làm ảnh hưởng cường độ bơm hạt dẫn đa số và dòng thu trong BJT



20

Thành phần dòng điện

I_n^{EB} = Dòng phát được bơm vào miền nền $\equiv I_{En}$

I_p^{BE} = Dòng nền được bơm vào miền phát $\equiv I_{Ep}$

I_{BE}^R = Dòng tái hợp trong miền nền

I_p^{BC} = Dòng lỗ được bơm qua tiếp xúc J_C phân cực ngược

I_n^{BC} = Dòng điện tử được bơm qua tiếp xúc J_C phân cực ngược

I_{nC} = Dòng điện tử đến từ miền phát $(\cong I_C)$

Để có dụng cụ hiệu năng cao, ta cần gì?

- $I_{En} \gg I_{Ep}$; $I_{BE} \sim 0$
- Hiệu suất phát cao
- Hệ số vận chuyển miền nền cao

23

Các dòng điện trong BJT N^+PN

- EBJ (J_E): Khuếch tán đa số

$-I_{EN}$

$-I_{EP}$

- CBJ (J_C): Trôi thiểu số

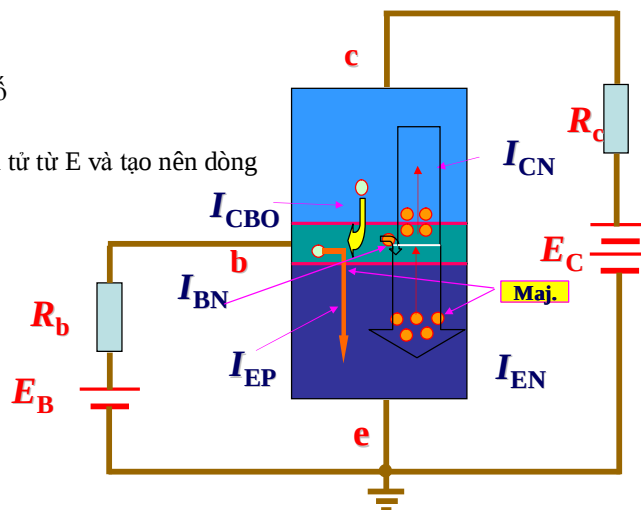
$-I_{CBO}$

- J_C thu thập những điện tử từ E và tạo nên dòng

I_{CN}

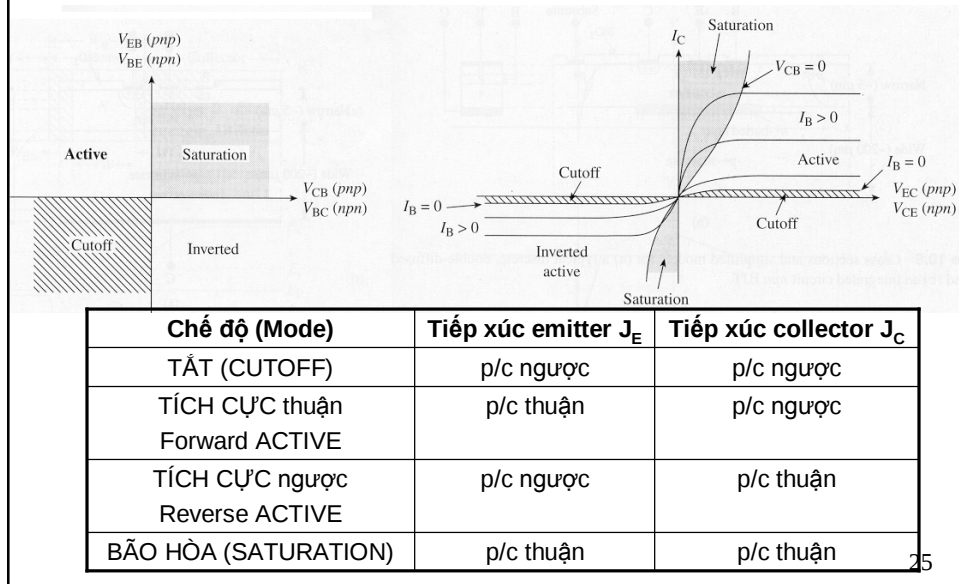
- Dòng nền

– Dòng tái hợp I_{BN}



Các chế độ làm việc của BJT

Common-emitter output characteristics
(I_C vs. V_{CE})



Tóm tắt các chế độ làm việc của BJT

Tích cực thuận	Tích cực ngược	Bảo hòa	Tắt
$V_{BE} \approx 0.7 \text{ V}$	$V_{BC} \approx 0.7 \text{ V}$	$V_{BE} \approx 0.7 \text{ V}$	$I_C = I_B = I_E = 0$
$I_C = \beta_F I_B$	$I_E = \beta_R I_B$	$V_{CE} \approx 0.2 \text{ V}$	check $V_{BE} < 0$
$I_E = I_B + I_C$	$I_E = I_B + I_C$ (be careful with polarity)	$I_E = I_B + I_C$	check $V_{BC} < 0$
check: $V_{CE} > 0.2 \text{ V}$	check: $V_{EC} > 0.2 \text{ V}$	check $I_C < \beta_F I_B$	

Chú ý:

- β_F = độ lợi dòng β thuận (đầu vào B, đầu ra C, J_E được p/c thuận và J_C được p/c ngược)
- β_R = độ lợi dòng β ngược (đầu vào B, đầu ra E, J_E được p/c ngược và J_C được p/c thuận)

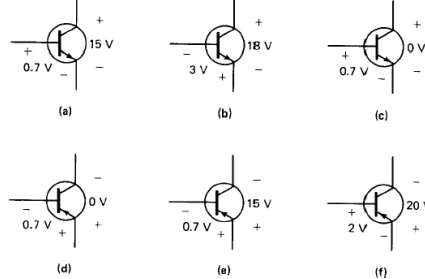
26

BT tại lớp

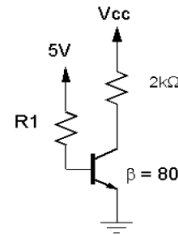
1. Với các trường hợp sau BJT hoạt động ở miền nào?

- | | |
|--|---|
| a) NPN: $V_{BE} = -2V$, $V_{CE} = 12V$ | d) PNP: $V_{EB} = 0.7V$, $V_{CE} = -15V$ |
| b) NPN: $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CE} = 15V$ | e) PNP: $V_{BE} = 3V$, $V_{EC} = 10V$ |
| c) NPN: $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CE} = 0V$ | f) PNP: $V_{BE} = -0.7V$, $V_{CE} = 0V$ |

2. Hãy xác định xem các BJT trong hình E1 được phân cực ở miền hoạt động nào?



Hình E1

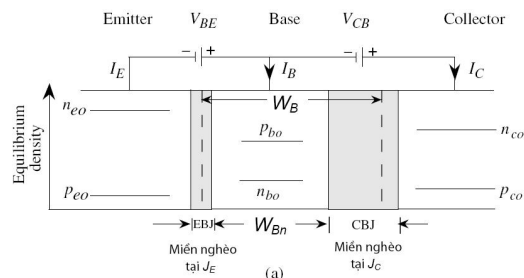


Hình E2

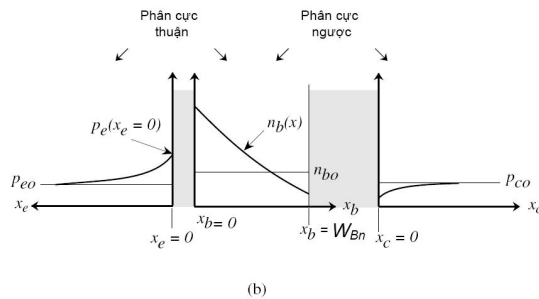
3. Cho mạch ở hình E2 phải chọn R1 và V_{CC} bằng bao nhiêu để có $V_{CE} = 5V$ và $I_C = 2mA$, biết $V_{BE} = 0.7V$?

27

BJT NPN ở chế độ tích cực thuận.



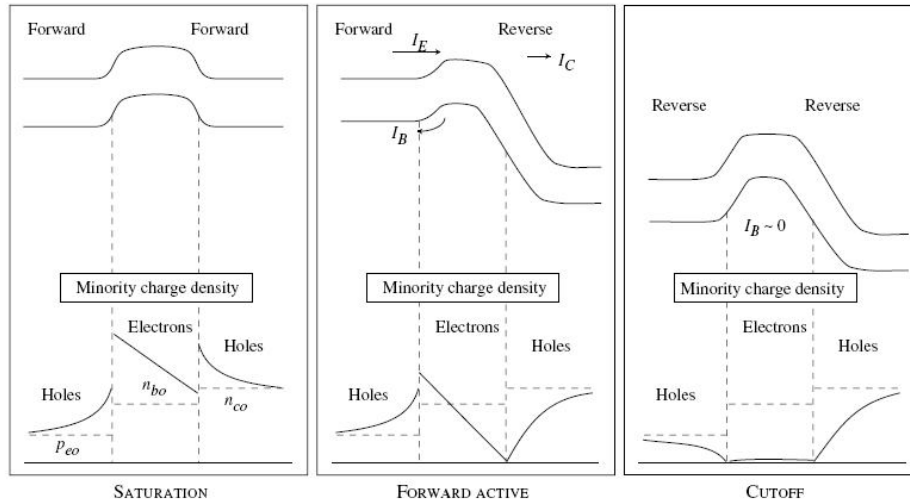
(a) nồng độ hạt dẫn cân bằng của điện tử và lỗ của các miền nghèo chuyển tiếp trong BJT NPN.



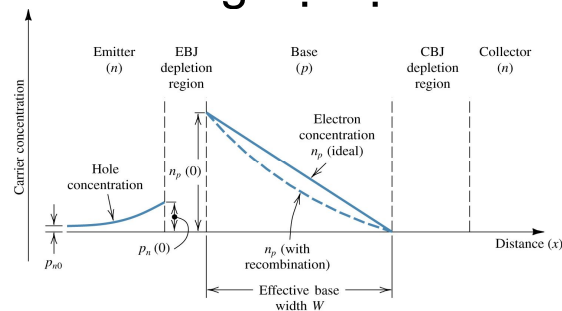
(b) sự phân bố hạt dẫn thiểu số trong các miền phát, nền, và thu.

28

Giản đồ năng lượng và sự phân bố điện tích thiểu số trong BJT dưới các chế độ bão hòa, tích cực thuận và tắt.



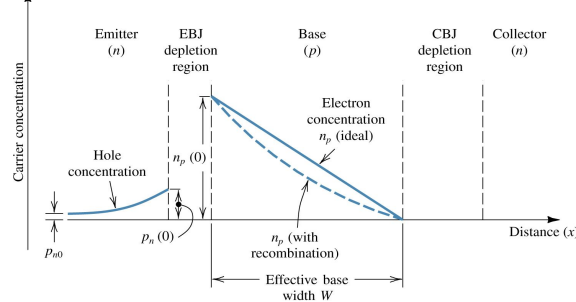
Sự phân bố nồng độ hạt dẫn thiểu số



- Dòng điện chính do điện tử từ miền phát vào miền nền (do thiết kế) do phân cực thuận và do khuếch tán hạt dẫn thiểu số qua miền nền
 - Có tái hợp (trong miền nền) làm giảm nồng độ điện tử
 - Miền nền được thiết kế ngắn (nhằm tối thiểu hóa sự tái hợp)
 - Miền phát được pha tạp chất rất nhiều (đôi khi trở thành suy biến) và miền nền được pha tạp chất ít. ($N_{DE} \gg N_{AB}$)
- Những dòng điện trôi thường nhỏ và bỏ qua được

30

Dòng khuếch tán đi qua miền nền



- Khuếch tán điện tử qua miền nền được xác định bởi nồng độ tại J_E

$$n_p(0) = n_{p0} e^{v_{BE}/V_T}$$

- Dòng khuếch tán của điện tử đi qua miền nền (giả sử đường thẳng lý tưởng):

$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx} = A_E q D_n \left(-\frac{n_p(0)}{W} \right) \quad A_E = A = \text{diện tích mặt cắt ngang của dụng cụ}$$

- Do sự tái hợp trong miền nền, dòng điện tại J_E và dòng điện tại J_C không bằng nhau và hiệu của chúng bằng dòng nền

31

Dòng [điện ở cực] thu

- Điện tử khuếch tán qua miền nền vào J_C lại được kéo qua miền nghèo của J_C vào miền thu do phân cực ngược J_C làm cho có điện thế cao tại C.

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \quad \text{với dòng bão hòa là} \quad I_S = q A_E D_n n_{p0} / W$$

và ta có thể viết lại dòng bão hòa như sau:

$$I_S = \frac{q A_E D_n n_i^2}{N_A W}$$

- Chú ý rằng lý tưởng thì i_C độc lập với v_{CB} (điện áp phân cực J_C)
- Dòng bão hòa thì
 - tỉ lệ nghịch với W và tỉ lệ thuận với A_E
 - Ta muốn có bề rộng miền nền ngắn và diện tích miền phát lớn để có dòng điện cao
 - Phụ thuộc vào nhiệt độ do có số hạng n_i^2

32

Dòng [điện] nền

- Dòng nền i_B được tạo nên từ 2 thành phần
 - Lỗ được bơm từ miền nền vào miền phát ($i_{B1}=I_p^{BE}$)
 - Lỗ tái hợp với các điện tử khuếch tán (từ E) vào miền nền và phụ thuộc vào thời gian sống hạt dẫn thiểu số τ_b ($i_{B2}=I_{BE}^R$)

$$i_{B1} = \frac{qA_E D_p n_i^2}{N_D L_P} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_{B2} = \frac{Q_n}{\tau_b}$$

và điện tích Q ở miền nền là
$$Q_n = \frac{qA_E W n_i^2}{N_A} e^{v_{BE}/V_T}$$

Do đó i_{B2} có trị
$$i_{B2} = \frac{qA_E W n_i^2}{N_A \tau_b} e^{v_{BE}/V_T}$$

- Dòng nền tổng cộng là

$$i_B = \left(\frac{qA_E D_p n_i^2}{N_D L_P} + \frac{qA_E W n_i^2}{N_A \tau_b} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

33

Hoạt động của BJT NPN ở chế độ tích cực

Dòng thu
$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

Dòng nền
$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

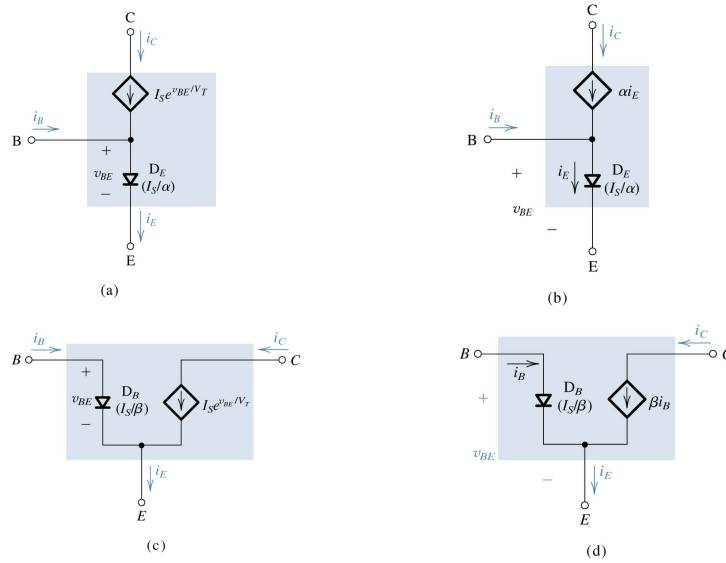
Dòng phát

$$i_E = i_C + i_B = \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot i_C = \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot \left(I_S \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \right) \quad i_C = \alpha \cdot I_E \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Chú ý: Với BJT-PNP, ta chỉ cần thay V_{BE} bằng V_{EB}

34

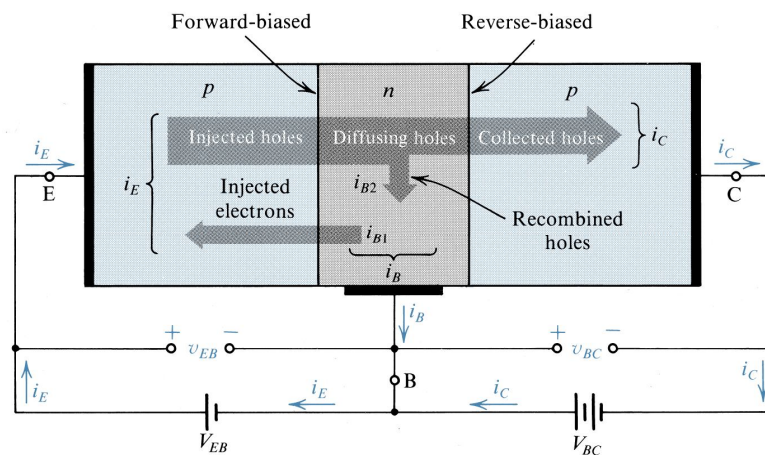
Mô hình tín hiệu lớn của BJT – NPN (chế độ KĐ)



Large-signal equivalent-circuit models of the npn BJT operating in the active mode.

35

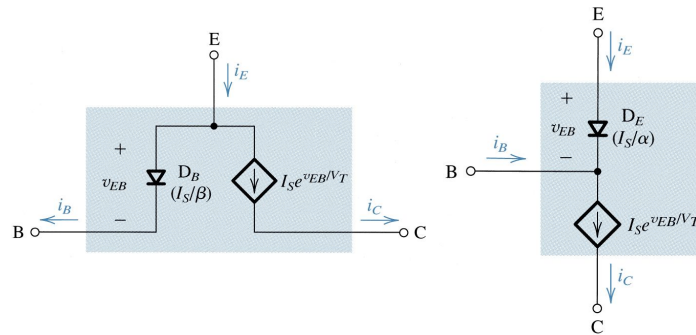
The pnp Transistor



Current flow in an pnp transistor biased to operate in the active mode.

36

The pnp Transistor



Two large-signal models for the pnp transistor operating in the active mode.

37

Summary of the BJT I-V Relationships in the Active Mode

$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \quad i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \quad i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \frac{I_S}{\alpha} \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

Note : for pnp transistor, replace \$v_{BE}\$ for \$v_{EB}\$

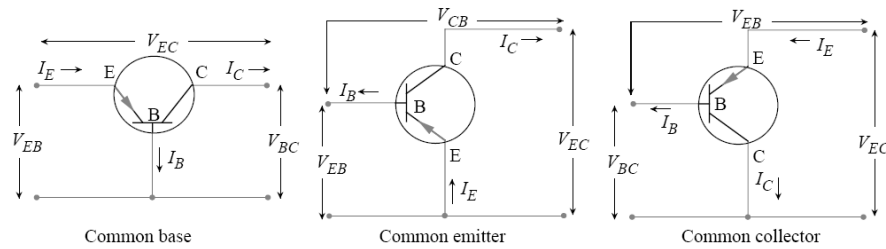
$$i_C = \alpha \cdot i_E \quad i_B = (1 - \alpha) \cdot i_E = \frac{i_E}{\beta + 1}$$

$$i_C = \beta \cdot i_B \quad i_E = (\beta + 1) \cdot i_B$$

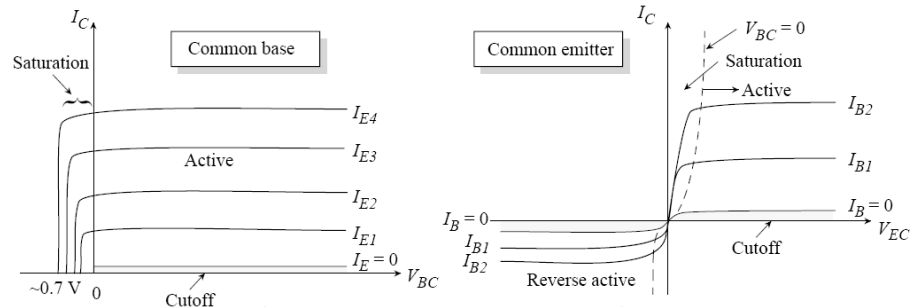
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad V_T = 25\text{mV}$$

38

Ba cấu hình mắc BJT trong mạch

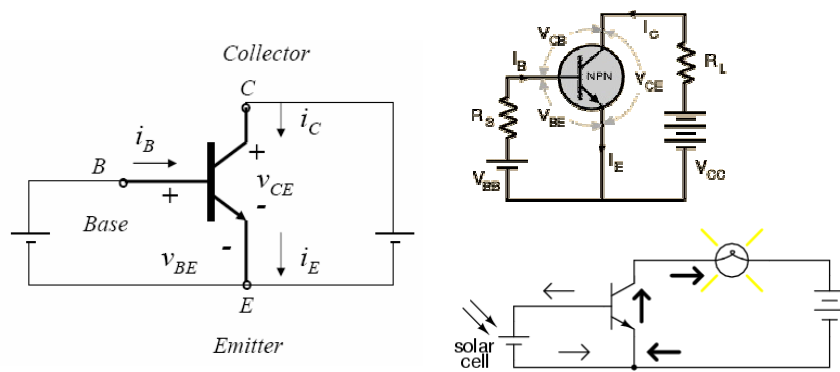


(a) Three possible configurations under which a BJT can be used in circuits.



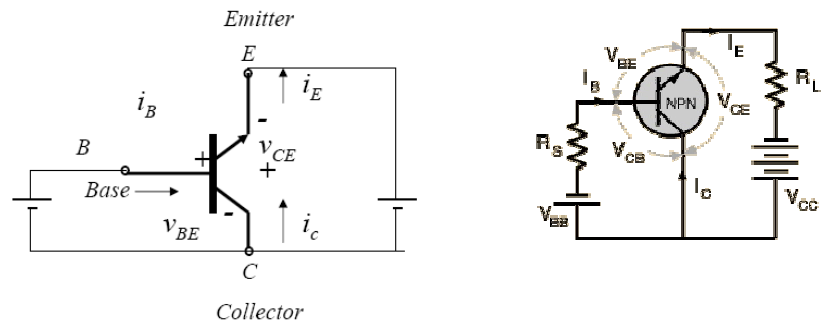
(b) A schematic of the current-voltage characteristics of a BJT in the common-base and commonemitter configuration.

Common-emitter



It is called the *common-emitter* configuration because (ignoring the power supply battery) both the signal source and the load share the emitter lead as a common connection point.

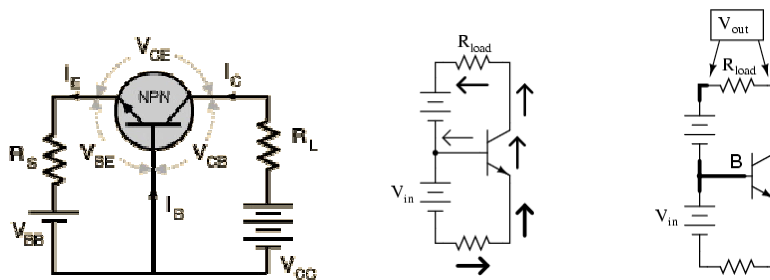
Common-collector



It is called the *common-collector* configuration because both the signal source and the load share the collector lead as a common connection point. Also called an **emitter follower** since its output is taken from the emitter resistor, is useful as an impedance matching device since its input impedance is much higher than its output impedance.

41

Common-base

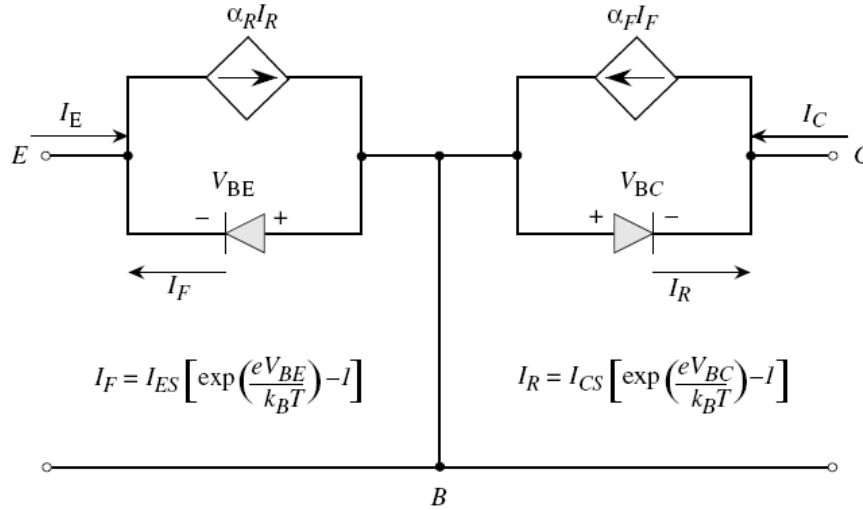


This configuration is more complex than the other two, and is less common due to its strange operating characteristics.

Used for high frequency applications because the base separates the input and output, minimizing oscillations at high frequency. It has a high voltage gain, relatively low input impedance and high output impedance compared to the common collector.

42

Dòng-áp: Mô hình Ebers-Moll



The Ebers-Moll equivalent circuit of a bipolar transistor looks at the device as made up of two coupled diodes.

43

Dòng-áp: Mô hình Ebers-Moll

$$I_E = -I_{ES} \left[\exp\left(\frac{eV_{BE}}{k_B T}\right) - 1 \right] + \alpha_R I_{CS} \left[\exp\left(-\frac{eV_{CB}}{k_B T}\right) - 1 \right]$$

$$I_C = \alpha_F I_{ES} \left[\exp\left(\frac{eV_{BE}}{k_B T}\right) - 1 \right] - I_{CS} \left[\exp\left(-\frac{eV_{CB}}{k_B T}\right) - 1 \right]$$

where

$$I_{ES} = \frac{eAD_b n_{bo}}{L_b} \coth\left(\frac{W_{bn}}{L_b}\right) + \frac{eAD_e p_{eo}}{L_e}$$

$$I_{CS} = \frac{eAD_c p_{co}}{L_c} + \frac{eAD_b n_{bo}}{L_b} \coth\left(\frac{W_{bn}}{L_b}\right)$$

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS} = \frac{eAD_b n_{bo}}{L_b \sinh\left(\frac{W_{bn}}{L_b}\right)}$$

44