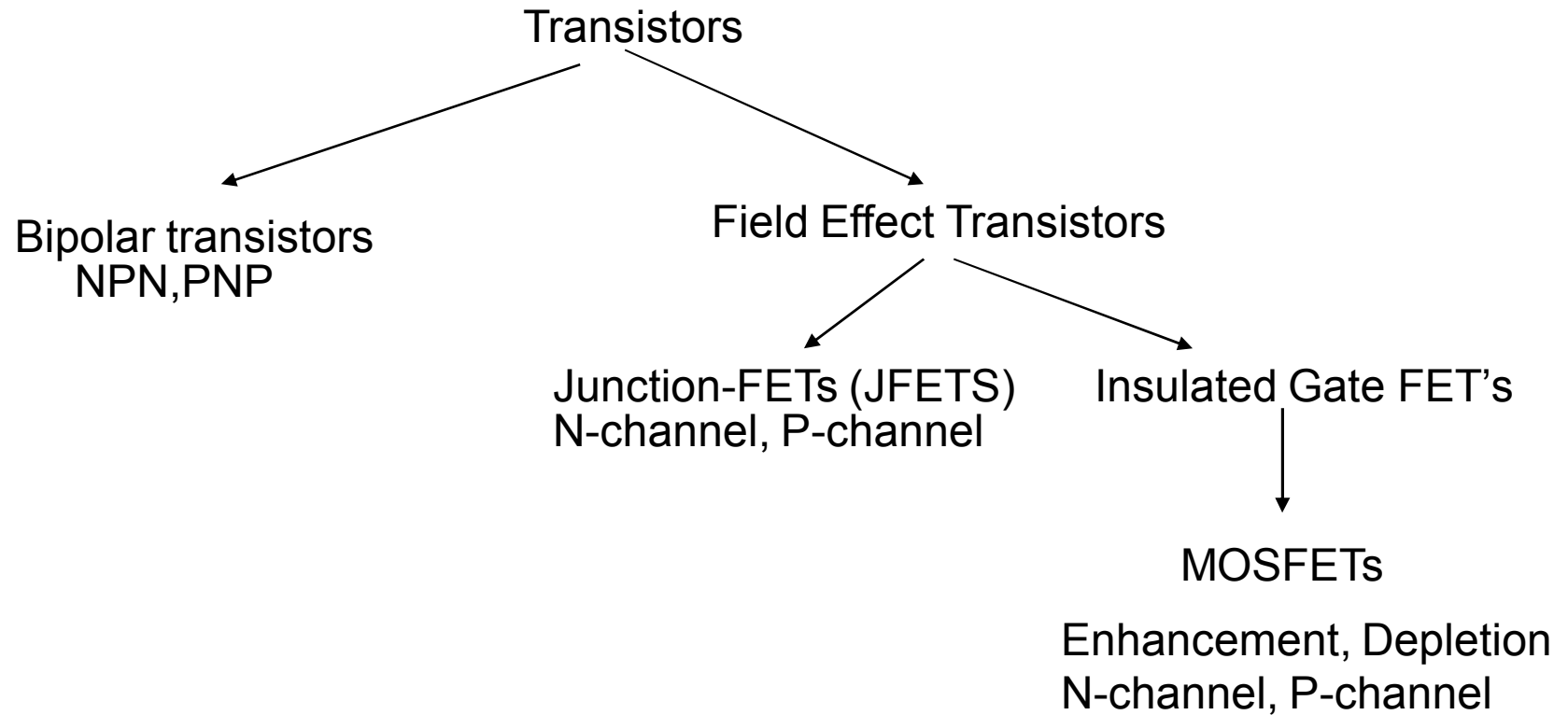


ĐHBK Tp HCM-Khoa Đ-ĐT
BMĐT
GVPT: Hồ Trung Mỹ
Môn học: Dụng cụ bán dẫn

Chương 5

BJT

Transistors (**Transfer Resistor**)



BJT

- **Giới thiệu**
- **Bức tranh ý niệm**
- **Đặc tính tĩnh của BJT**
- Các tham số hiệu năng của dụng cụ
- 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, ...
- Thyristor

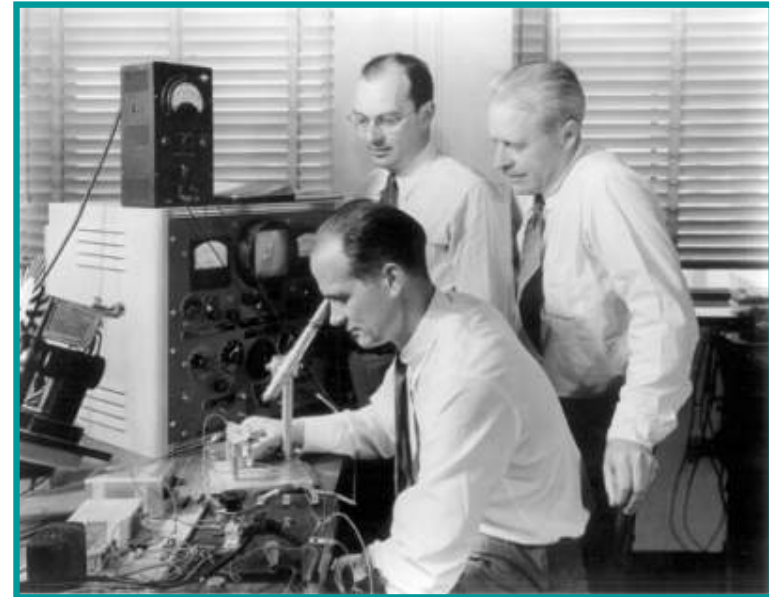
5.1 Giới thiệu

- BJT được phát minh vào năm 1947 do William Shockley, John Bardeen và Walter Brattain tại Bell Labs (Mỹ)
- BJT=Bipolar Junction Transistor và Transistor = **Transfer resistor**
- 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: Khuếch đại dòng/áp/công suất tín hiệu, 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 độ tích hợp nhỏ trong IC.

BJT



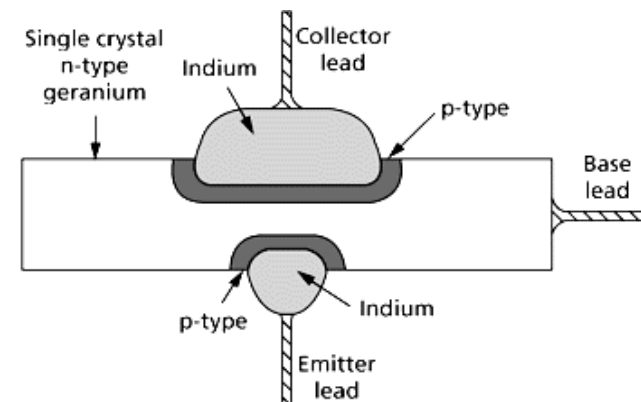
Original
point-contact
transistor
(1947)



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

They received Nobel Prize in Physics in **1956** "for their researches on semiconductors and their discovery of the transistor effect"

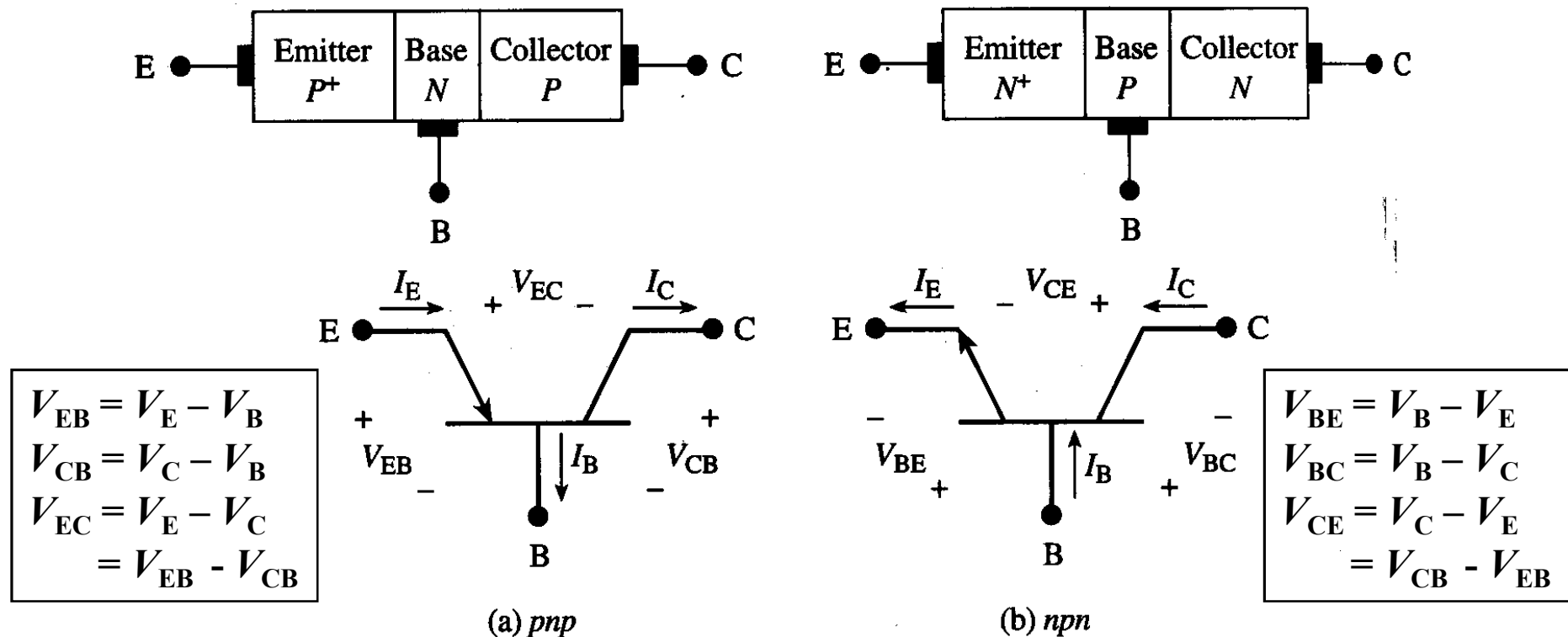
First grown transistor (1950)



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



$$I_E = I_B + I_C$$

Hình 5.1 Ký hiệu của hai loại BJT

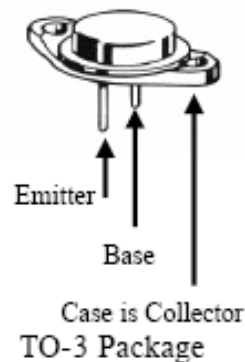
Cấu trúc của BJT

- 3 miền được pha tạp chất riêng:
 - Miền phát ($E = \text{Emitter}$)
 - Miền nền ($B = \text{Base}$)
 - Miền thu ($C = \text{Collector}$)
- 2 chuyển tiếp P-N
 - Chuyển tiếp PN giữa B và E (gọi là J_E hay EBJ)
 - Chuyển tiếp PN giữa B và C (gọi là J_C hay CBJ)
- Nồng độ tạp chất ở các miền khác nhau:
 - Nồng độ tạp chất ở $E > B > C$ (TD: n^+-p-n , p^+-n-p)
- Bề rộng của miền nền nhỏ so với chiều dài khuếch tán của hạt dẫn thiểu số

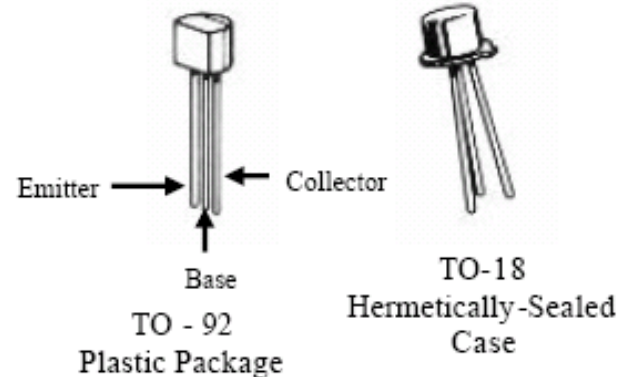
Transistor Outlines (TO)

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

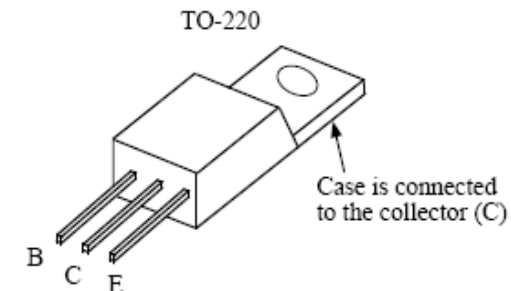
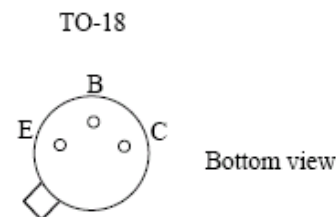
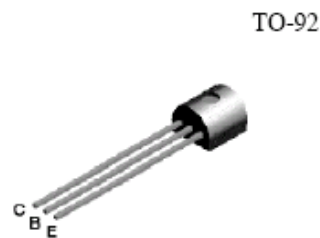
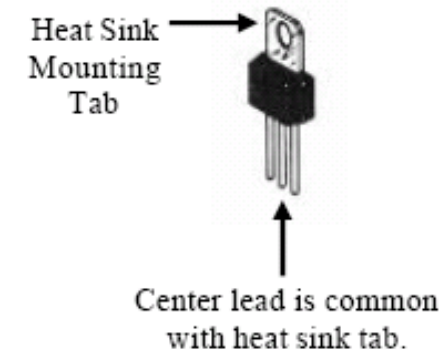
Power Transistor
Shown about 1/2 actual size.



Small Signal Transistors
Shown about twice actual size.

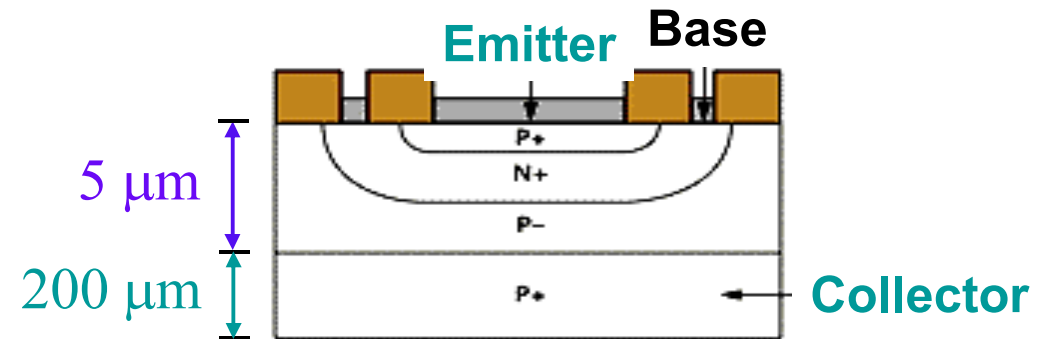


Power Tab Package
Shown about actual size.
Used for power transistors,
three-terminal voltage
regulators, and SCR's.

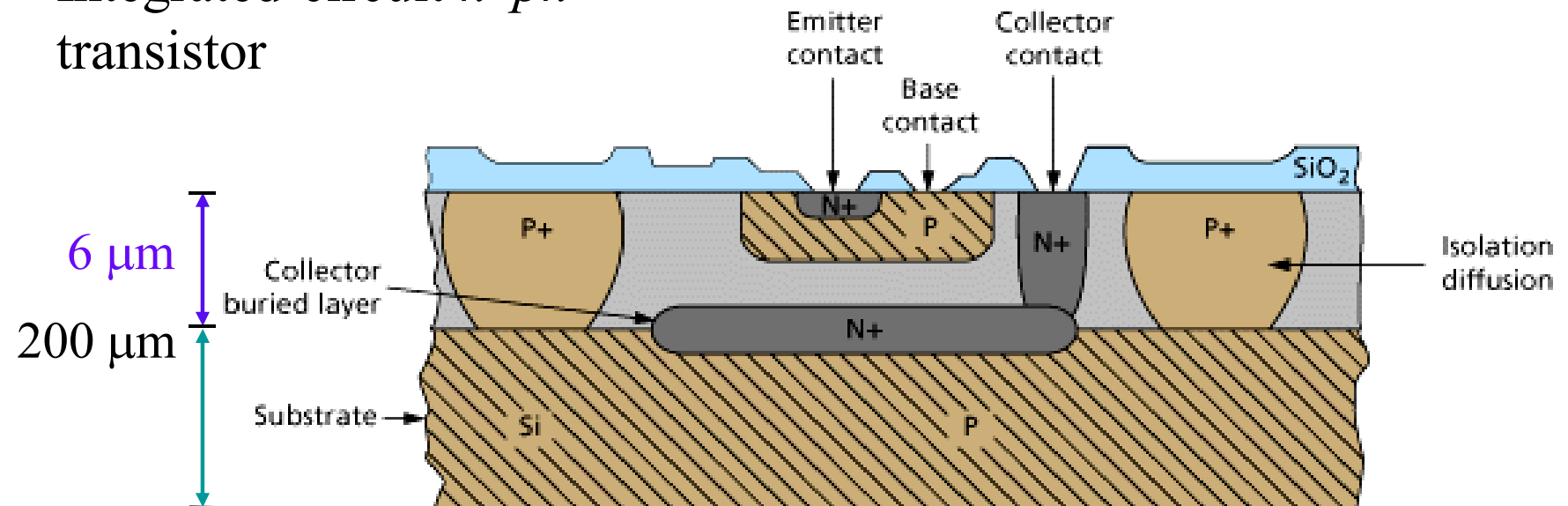


Types of transistors

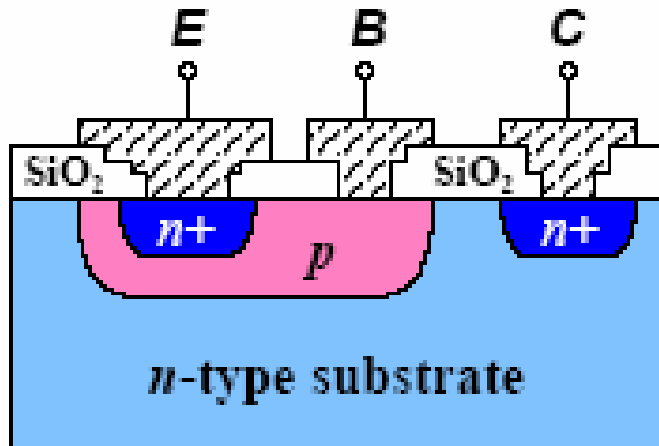
- Discrete (double-diffused) p^+np transistor



- Integrated-circuit n^+pn transistor

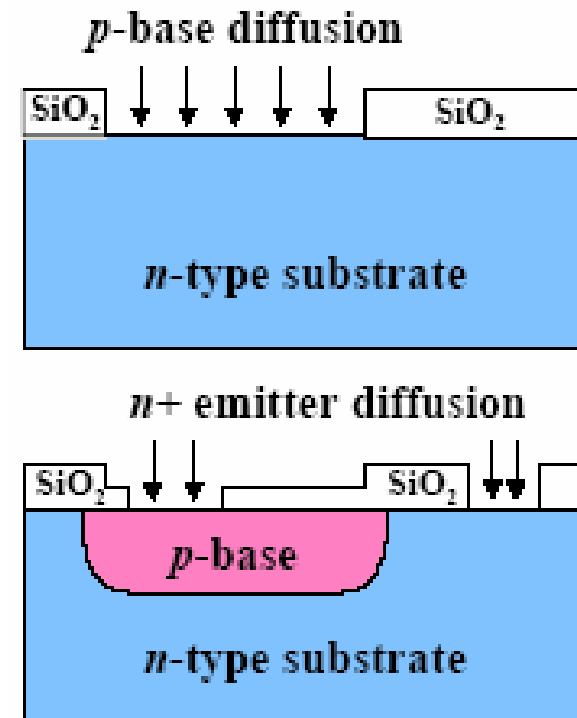


BJT Structure - Planar

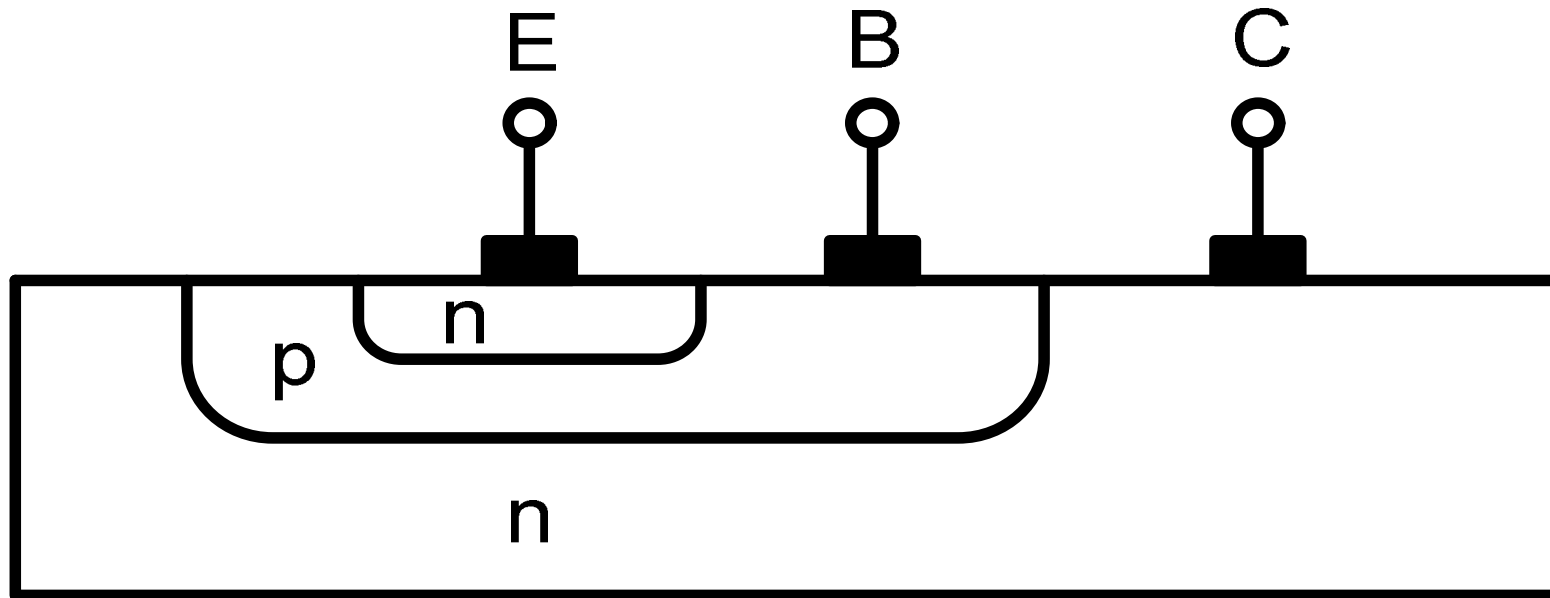


The “**Planar Structure**” developed by Fairchild in the late 50s shaped the basic structure of the BJT, even up to the present day.

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



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



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. Vì vậy điều khiển là dòng điện, và <i>BJT bản chất là mạch khuếch đại dòng.</i>	Sự dẫn điện được điều khiển bằng điện trường được tạo bởi điện áp đưa vào các cực điều khiển. Vì vậy điều khiển không có dòng điện và <i>FET là dụng cụ được điều khiển bằng điện áp.</i>

BJT và FET (1/2)

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



Luồng chất lỏng

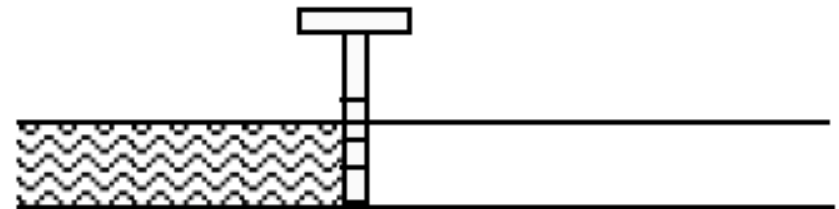


Tăng thế năng làm dừng
luồng chất lỏng
Trạng thái OFF

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

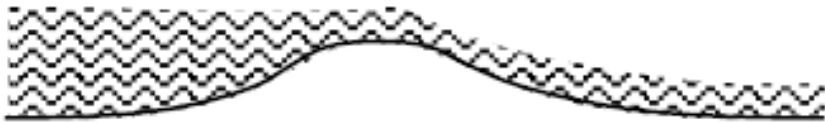


Luồng chất lỏng trong miền bị giới hạn



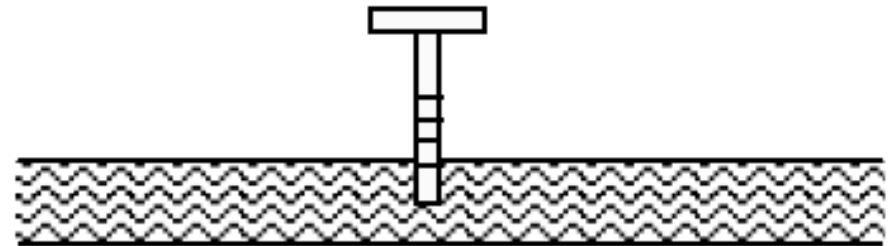
Độ rộng được điều khiển bằng “cổng”
Trạng thái OFF

BJT và FET (2/2)



Giảm thế năng cho phép
luồng chất lỏng chảy

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



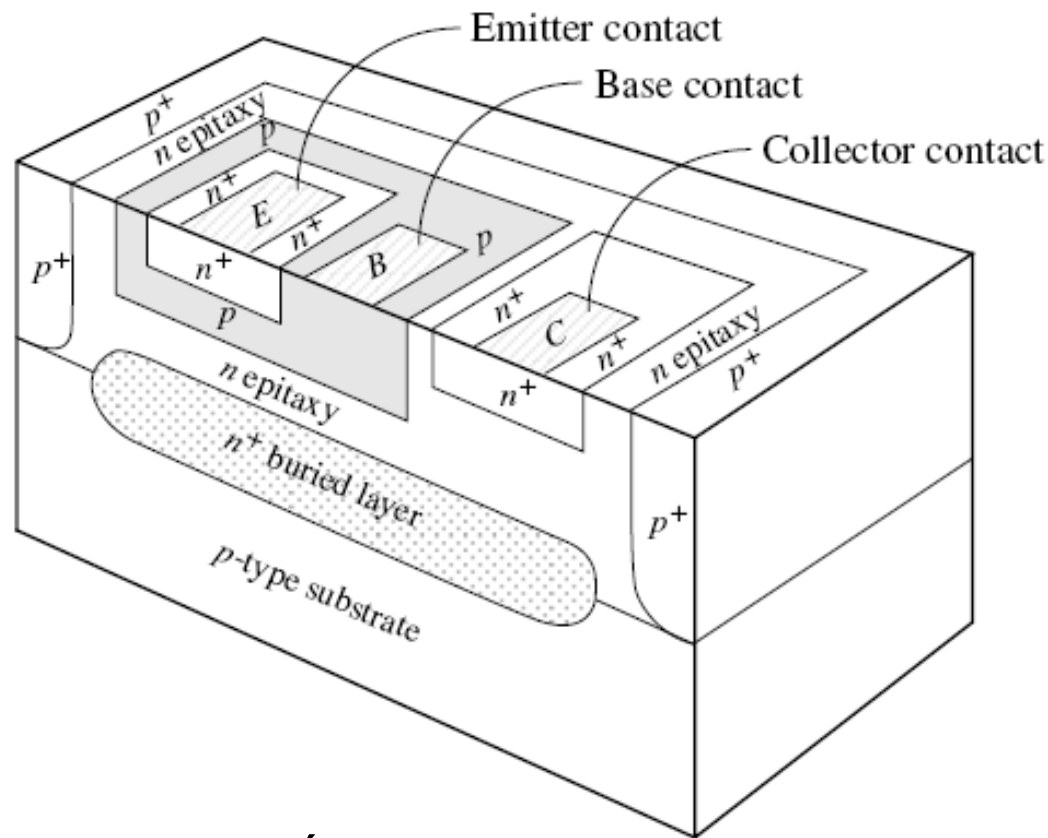
Tăng độ rộng kênh làm cho
chất lỏng chảy

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

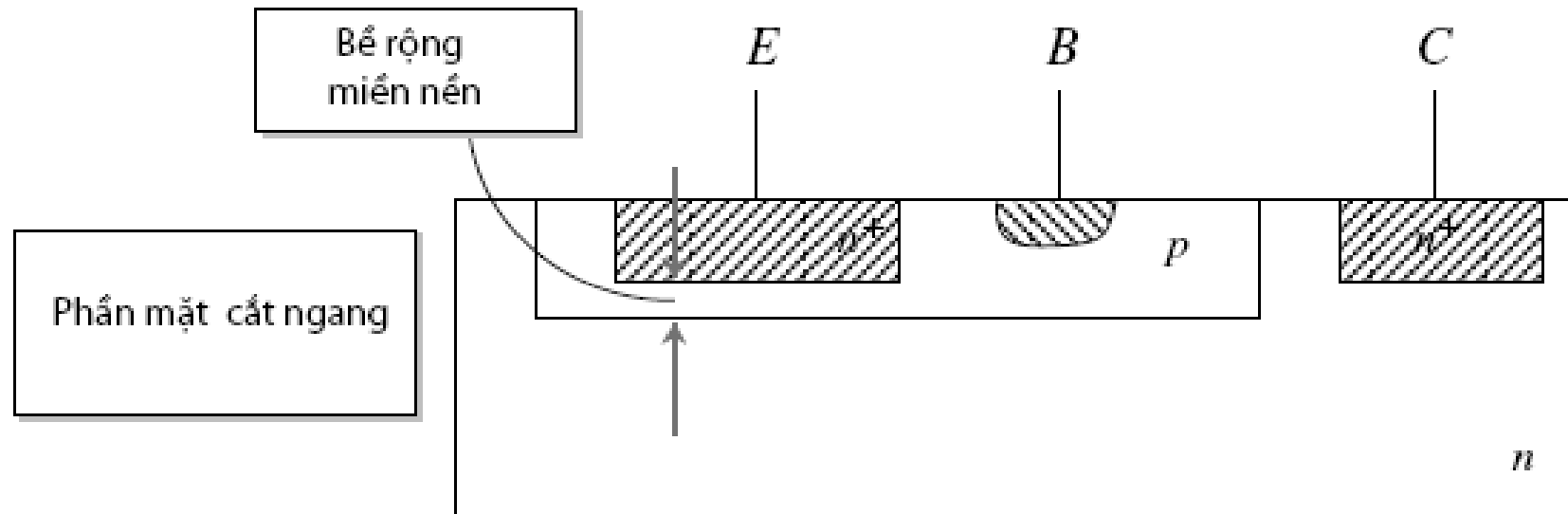
Hình 5.2 Các cách điều khiển luồng nước (dòng điện) trong BJT và FET

5.2 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 sau cho thấy cấu tạo của BJT NPN và mặt cắt của nó.



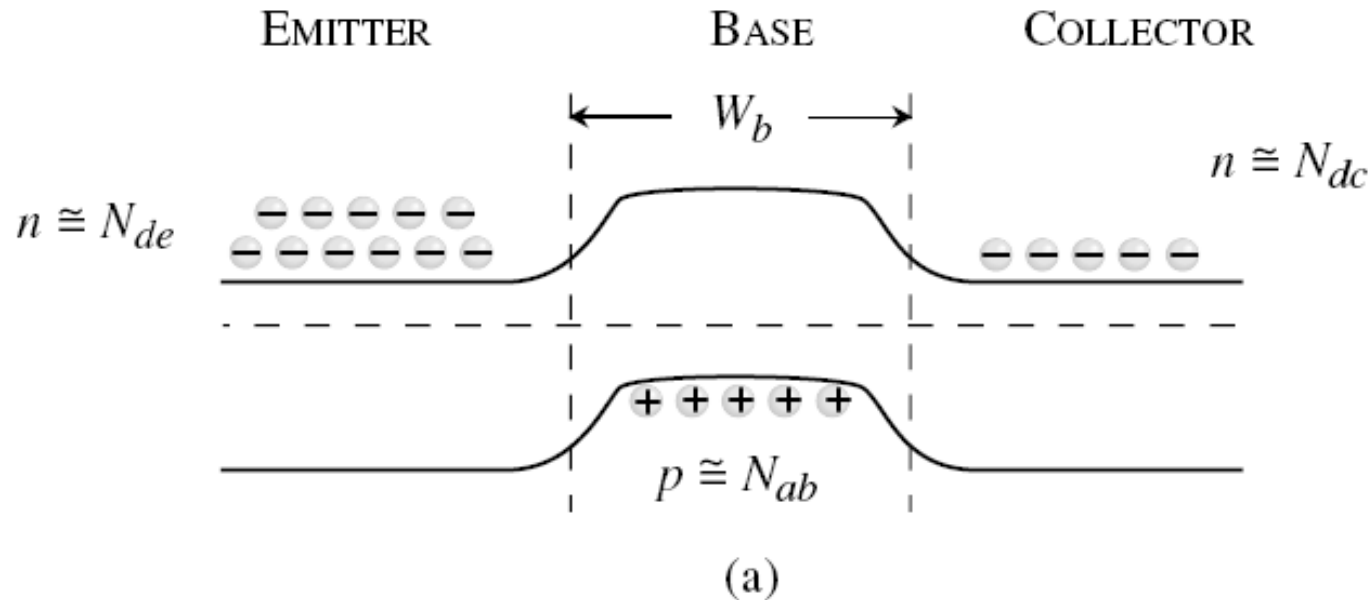
a) Cấu tạo của BJT



b) Mặt cắt ngang được đơn giản hóa của BJT

Hình 5.3 Cấu tạo của BJT

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



- Nồng độ N_D ở Emitter (N_{de}) $\gg$ N_D ở Collector (N_{dc})
- Không có dòng điện
- 2 diode đầu ngược nhau

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 sau:

Giải đồ năng lượng của BJT khi được phân cực ở chế độ tích cực thuận với J_E được phân cực thuận và J_C được phân cực ngược.

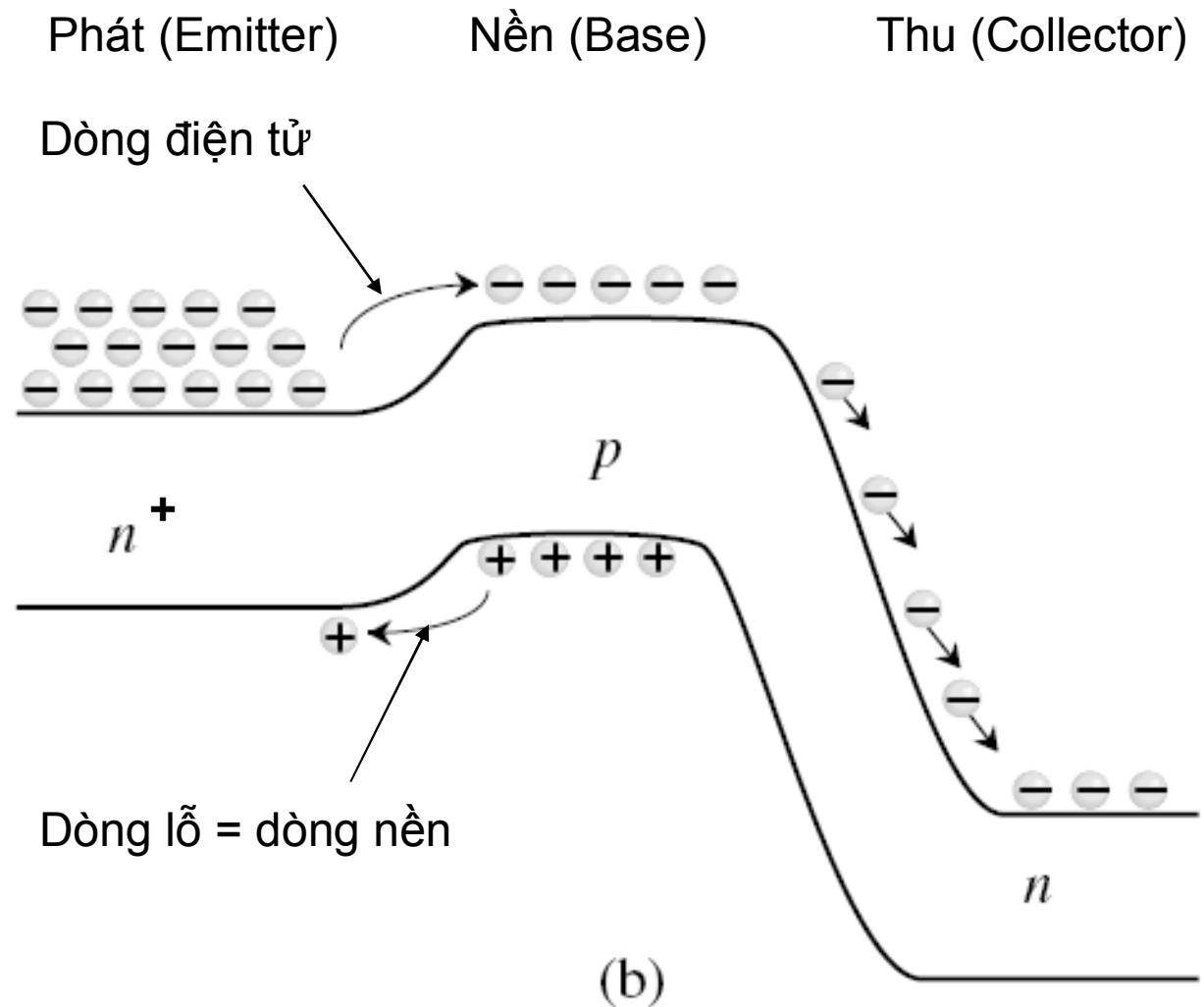
J_E được phân cực thuận:

- 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



Hình 5.4 Giải đồ năng lượng của BJT NPN ở chế độ tích cực thuận. 18

- Các yêu cầu quan trọng đối với dụng cụ điện tử:
 - Hệ số khuếch đại (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
- Chú ý là bề rộng miền nền W_B rất nhỏ hơn nhiều chiều dài khuếch tán điện tử trong miền nền bán dẫn P. Để cho khi điện tử được bơm vào từ miền phát, hầu hết chúng đi qua miền nền và không tái hợp với lỗ. Và một khi đến miền thu thì chịu tác dụng của điện trường mạnh (do phân cực ngược J_C) làm cho nó đi đến cực thu và tạo nên dòng điện thu.
- Ta nên nhớ rằng nếu diode do chuyển tiếp J_E được pha bất đối xứng (p-n+), dòng phân cực thuận chủ yếu được tạo ra từ sự bơm điện tử vào miền P. Dòng phân cực thuận này cũng bị thay đổi bởi sự thay đổi rất nhỏ trong điện áp phân cực thuận vì dòng điện phụ thuộc vào điện áp phân cực thuận theo hàm mũ.

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

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

- Chú ý: Hệ số vận chuyển miền nền còn được gọi là hệ số truyền đạt miền nền

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

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

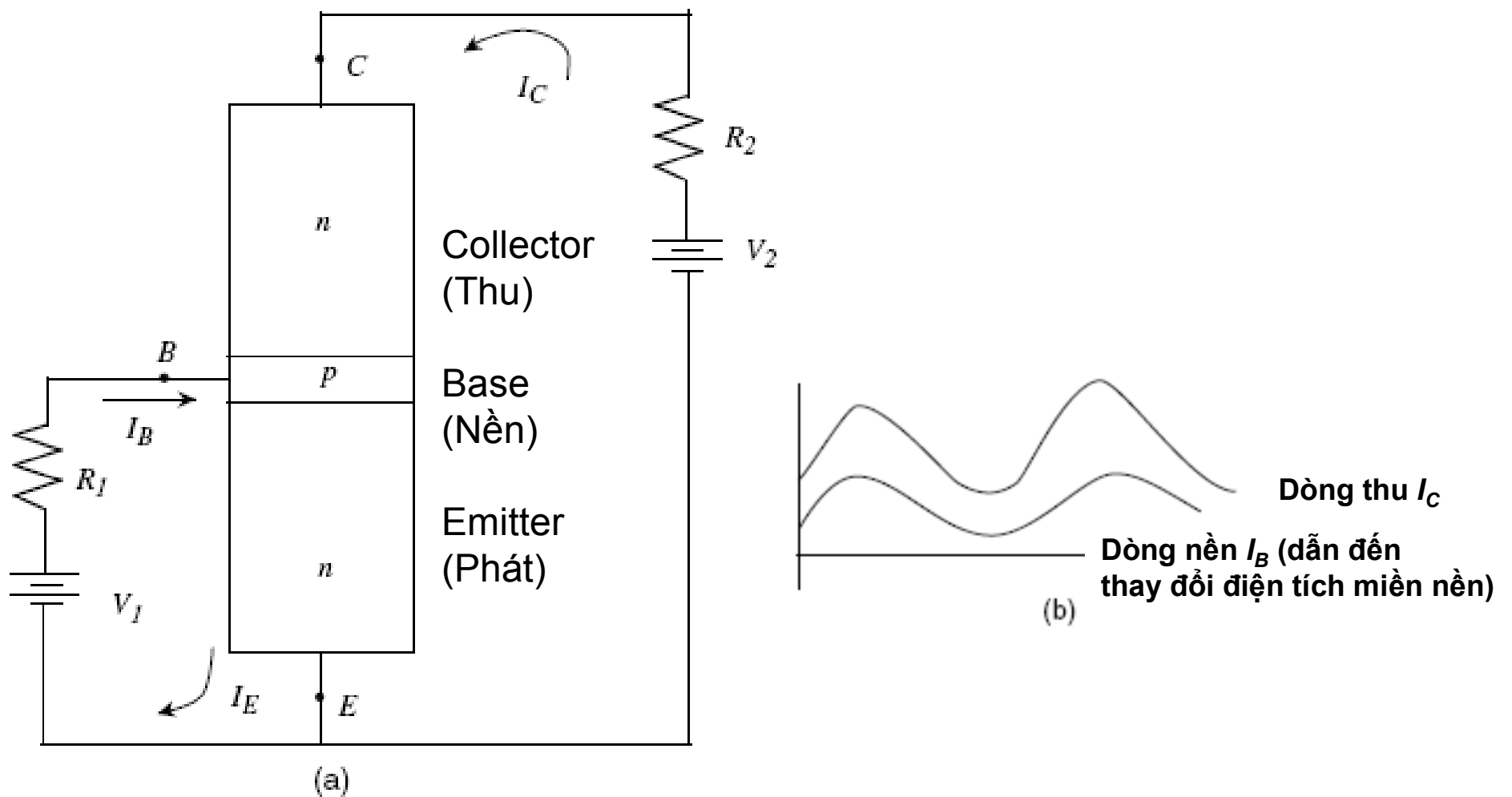
- Độ lợi dòng E chung β

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

hoặc được biểu diễn theo α :

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

- Hệ số β có thể có giá trị khá lớn với BJT từ vài chục cho đến vài trăm.

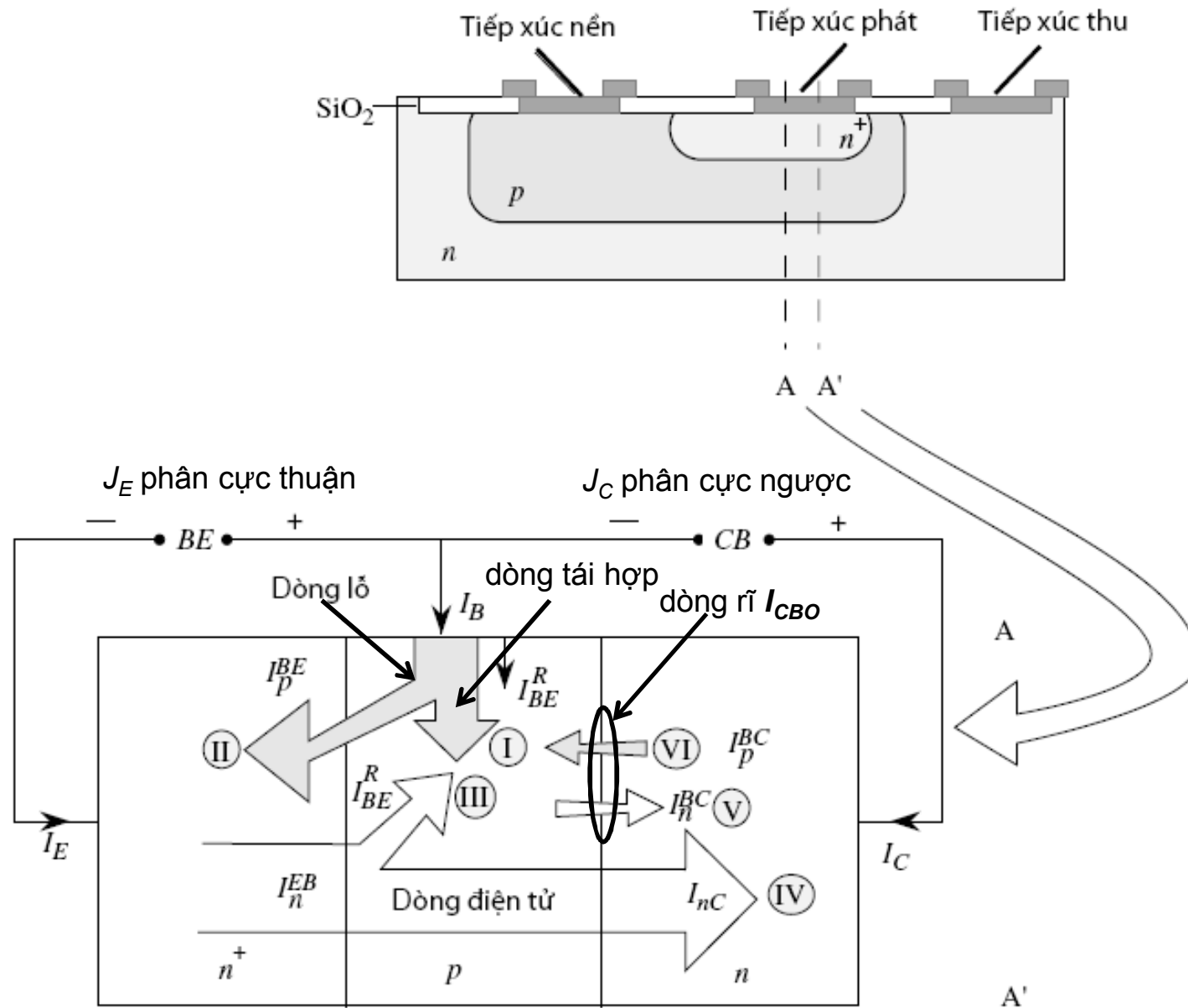


Hình 5.5 Sự thay đổi trong dòng điện nền làm ảnh hưởng cường độ bơm hạt dẫn đa số và dòng thu trong BJT

5.3 Đặc tính tĩnh của BJT:

Quan hệ giữa dòng điện và điện áp

- Bây giờ ta sẽ phát triển mô hình cho dòng điện trong BJT. Ban đầu ta sẽ mô hình đơn giản để thể hiện các tính chất chính của dụng cụ. Sau đó ta sẽ bàn về các vấn đề thứ cấp. Trong BJT, các hạt dẫn từ miền phát được bơm “thẳng đứng” qua miền nền, trong khi điện tích miền nền được bơm từ “cạnh” của dụng cụ như được chỉ ở hình 5.6.
- Nếu ta giả sử rằng miền phát rộng và dùng phân tích 1 chiều để hiểu dụng cụ. Ta sẽ sử dụng các giả thiết đơn giản hóa sau:
 1. Tạp chất được pha đều trong mỗi miền
 2. Không có dòng điện sinh-tái hợp trong các miền nghèo
 3. Điện tử được bơm từ miền phát tiếp tục khuếch tán qua miền nền và điện trường trên miền nền đủ nhỏ để không có hiện tượng trôi.
 4. Điện trường chỉ khác zero trong các miền nghèo và bằng zero trong các vật liệu khối.
 5. Dòng bơm collector bỏ qua được khi BJT được phân cực ngược.
 6. Qui ước ký hiệu mô tả điện áp: $V_{BE} = V_B - V_E$, với V_B và V_E là điện thế đo được tại các cực B và E. TD: $V_{BE} > 0$ nghĩa là $V_B > V_E$.



Hình 5.6 Sơ đồ cấu tạo BJT NPN (Si) với cấu trúc và các dòng điện trong dụng cụ. Cắt dọc theo AA' , ta có thể phân tích dụng cụ theo 1 chiều.

Thành phần dòng điện

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

I_{Ep}^{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 $(\equiv I_C)$

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

Tổng quát, có các dòng điện sau trong BJT:

- **Dòng [điện] nền I_B :** được tạo ra từ lỗ kết hợp với điện tử được bơm vào từ miền phát (Thành phần I) và lỗ được bơm qua tiếp xúc J_E vào miền phát (Thành phần II). Một lần nữa ta bỏ qua J_C với chế độ tích cực thuận.
- **Dòng [điện] phát I_E :** gồm dòng điện tử tái hợp với lỗ trong miền nền (III), dòng điện tử được bơm vào miền thu (IV), và dòng lỗ được bơm vào miền phát (II).

Những dòng điện tử (V) và lỗ (VI) thiểu số chạy trong J_C thì quan trọng khi dòng phát tiến tới zero. Trong phân tích này, ta sẽ giả sử rằng các nguyên tố tạp chất đều bị ion hóa hết và ***nồng độ hạt dẫn đa số bằng nồng độ tạp chất***. Ta qui ước các ký hiệu cho các nồng độ tạp chất (với BJT NPN): N_{DE} —nồng độ Donor tại Emitter; N_{AB} —nồng độ Acceptor tại Base; N_{DC} —nồng độ Donor tại Collector.

Các dòng điện trong BJT N^+PN

- EBJ (J_E): Khuếch tán đa số

$$-I_{EN}$$

$$-I_{EP}$$

- CBJ (J_C): Trôi thiếu số

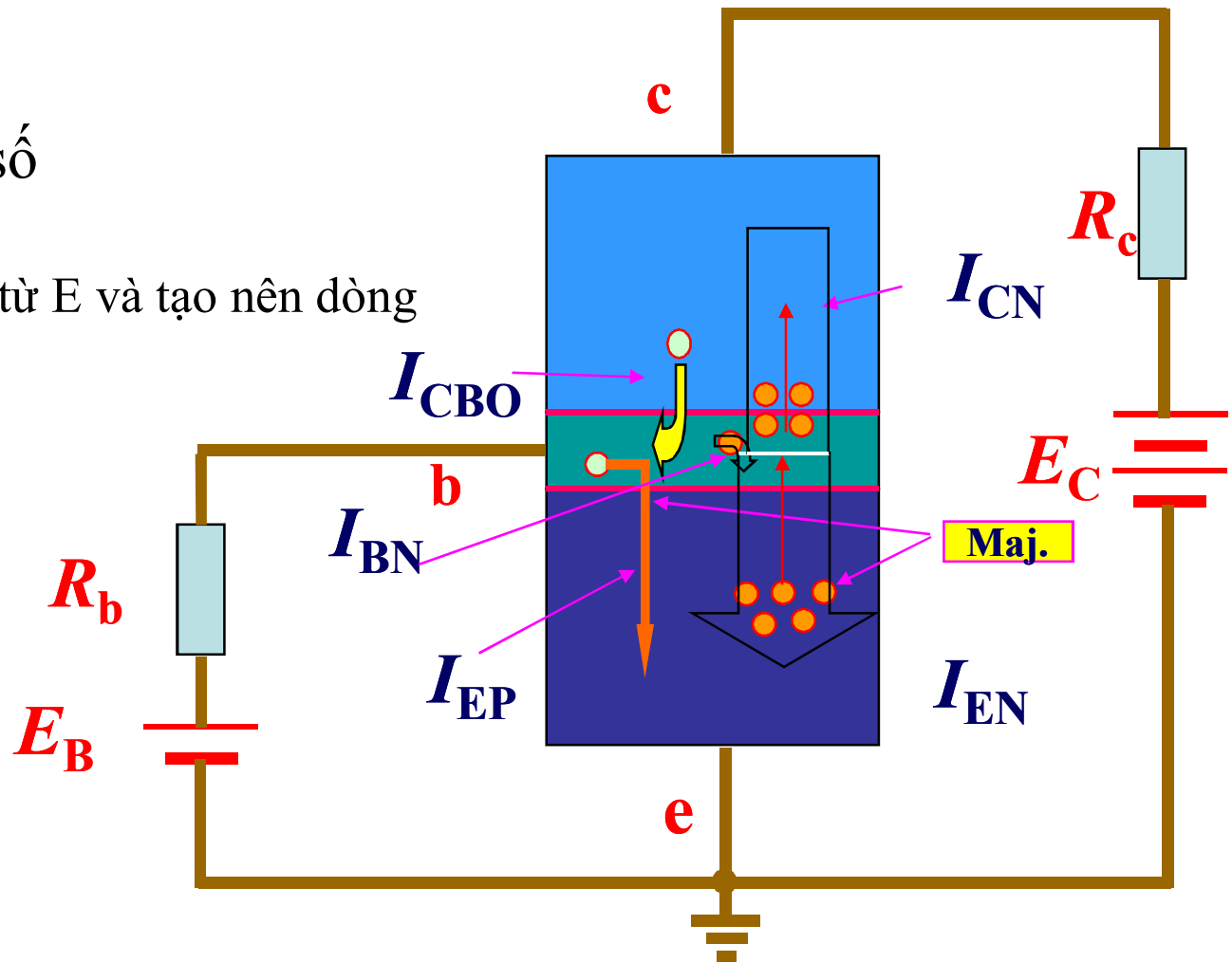
$$-I_{CBO}$$

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

$$I_{CN}$$

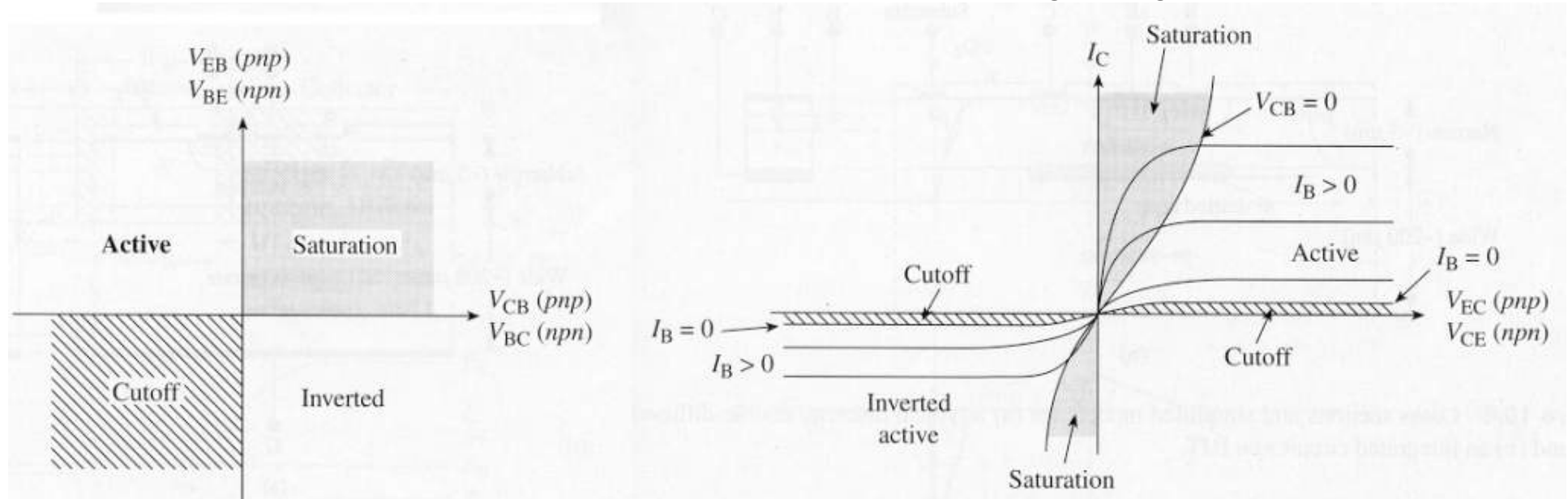
Dòng nền

$$-\text{Dòng tái hợp } I_{BN}$$



Các chế độ làm việc của BJT

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



Chế độ (Mode)	Tiếp xúc emitter J_E	Tiếp xúc collector J_C
TẮT (CUTOFF)	p/c ngược	p/c ngược
TÍCH CỰC thuận Forward ACTIVE	p/c thuận	p/c ngược
TÍCH CỰC ngược Reverse ACTIVE	p/c ngược	p/c thuận
BẢO HÒA (SATURATION)	p/c thuận	p/c thuận

Các chế độ hoạt động của BJT NPN

Phân cực cho		Chế độ hoạt động	Cách nhận biết với BJT NPN
J_E	J_C		
Thuận	Ngược	Tích cực [thuận] (khuếch đại)	$V_{BE} = V_{ON}$ và $V_{CE} > V_{CEsat}$ $I_C = \beta I_B$
Ngược	Ngược	Tắt (OFF)	$V_{BE}, V_{BC} \leq 0$ (thực tế $V_{BE}, V_{BC} < V_{ON}$) $I_C = I_B = I_E = 0$
Thuận	Thuận	Bão hòa (ON)	$V_{BE} = V_{BEsat}$ và $V_{CE} = V_{CEsat}$ $I_C < \beta I_B$
Ngược	Thuận	Tích cực ngược	Tương tự với chế độ tích cực thuận nhưng hoán đổi chức năng E và C: $I_E = \beta_R I_B$ ($\beta_R \ll \beta$) và $I_C = I_B + I_E$

Chú ý: Với BJT NPN Si thì $V_{ON} = 0.7V$, $V_{BEsat} = 0.8V$, và $V_{CEsat} = 0.2V$.

BT tại lớp

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

a) NPN: $V_{BE} = -2V$, $V_{CE} = 12V$

b) NPN: $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CE} = 15V$

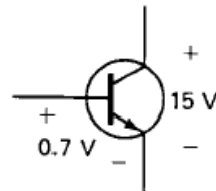
c) NPN: $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CE} = 0V$

d) PNP: $V_{EB} = 0.7V$, $V_{CE} = -15V$

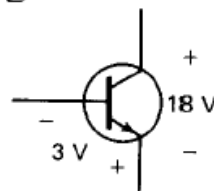
e) PNP: $V_{BE} = 3V$, $V_{EC} = 10V$

f) PNP: $V_{BE} = -0.7V$, $V_{CE} = 0V$

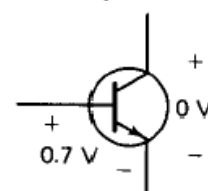
2. Hãy xác định xem các BJT trong hình E1 được phân cực ở miền hoạt động nào?



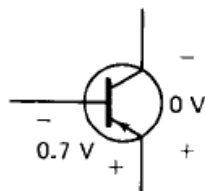
(a)



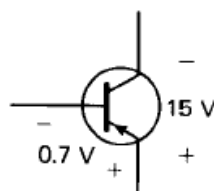
(b)



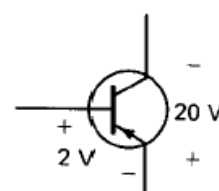
(c)



(d)

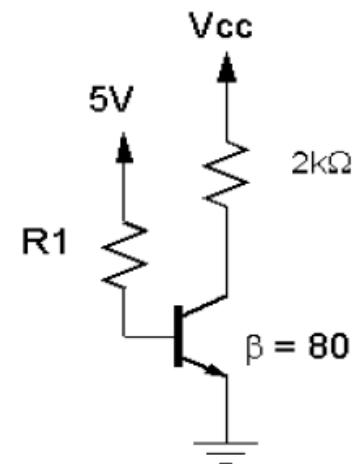


(e)



(f)

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 $V_{BE} = 0.7V$?

5.3.1 Những dòng điện trong BJT

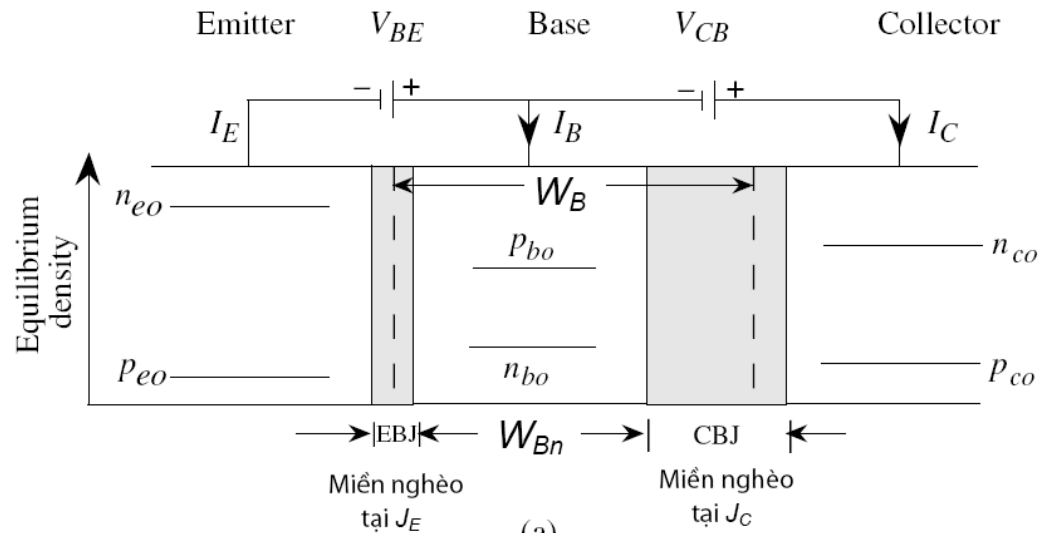
- Vì BJT dựa trên các diode p-n nên ta sẽ sử dụng các kiến thức của chuyển tiếp p-n để tìm hiểu BJT.
- Ta sẽ giả sử rằng bề rộng miền phát thì dài hơn so với chiều dài khuếch tán lỗ và bề rộng miền nền nhỏ hơn so với chiều dài khuếch tán điện tử. Ta sẽ sử dụng các trục và gốc tọa độ như trong hình 5.7, các khoảng cách x_e , x_b , và x_c được đo từ các cạnh của miền nghèo. Bề rộng miền nền là W_B nhưng bề rộng miền nền phần trung hòa là W_{Bn} . Để đơn giản ta sẽ giả sử rằng $W_B = W_{Bn}$.
- Sử dụng lý thuyết diode p-n ta có các quan hệ sau cho những nồng độ hạt dẫn dôi ra trong các miền khác nhau:

$$\begin{aligned}\delta p_e(x_e = 0) &= \text{nồng độ lỗ dôi ra ở cạnh miền phát của } J_E \\ &= p_{eo} [\exp(V_{BE}/V_T) - 1]\end{aligned}$$

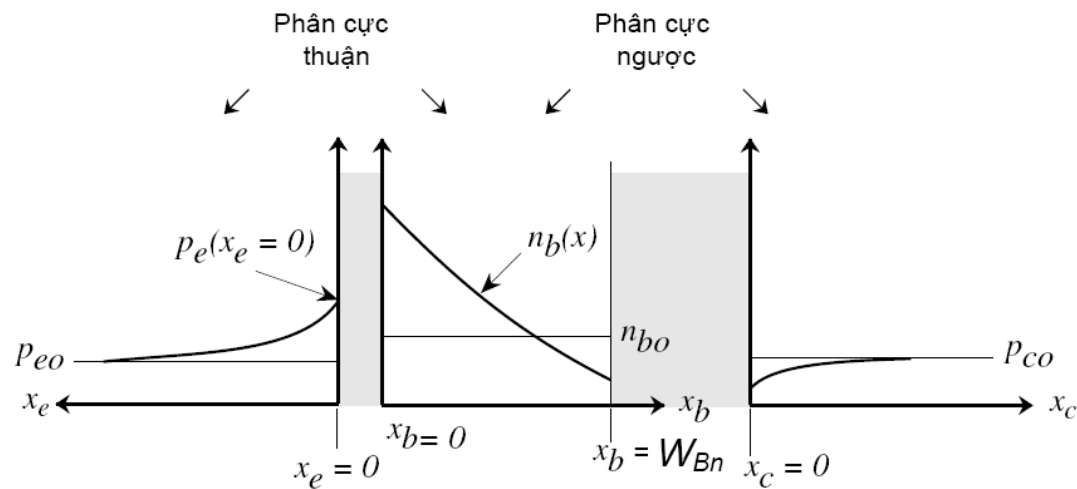
$$\begin{aligned}\delta n_b(x_b = 0) &= \text{nồng độ điện tử dôi ra ở cạnh miền nền của } J_E \\ &= n_{bo} [\exp(V_{BE}/V_T) - 1]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta n_b(x_b = W_{Bn}) &= \text{nồng độ điện tử dôi ra ở cạnh miền nền của } J_C \\ &= n_{bo} [\exp(-V_{CB}/V_T) - 1]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta p_c(x_c = 0) &= \text{nồng độ lỗ dôi ra ở cạnh miền thu của } J_C \\ &= p_{co} [\exp(-V_{CB}/V_T) - 1]\end{aligned}$$



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

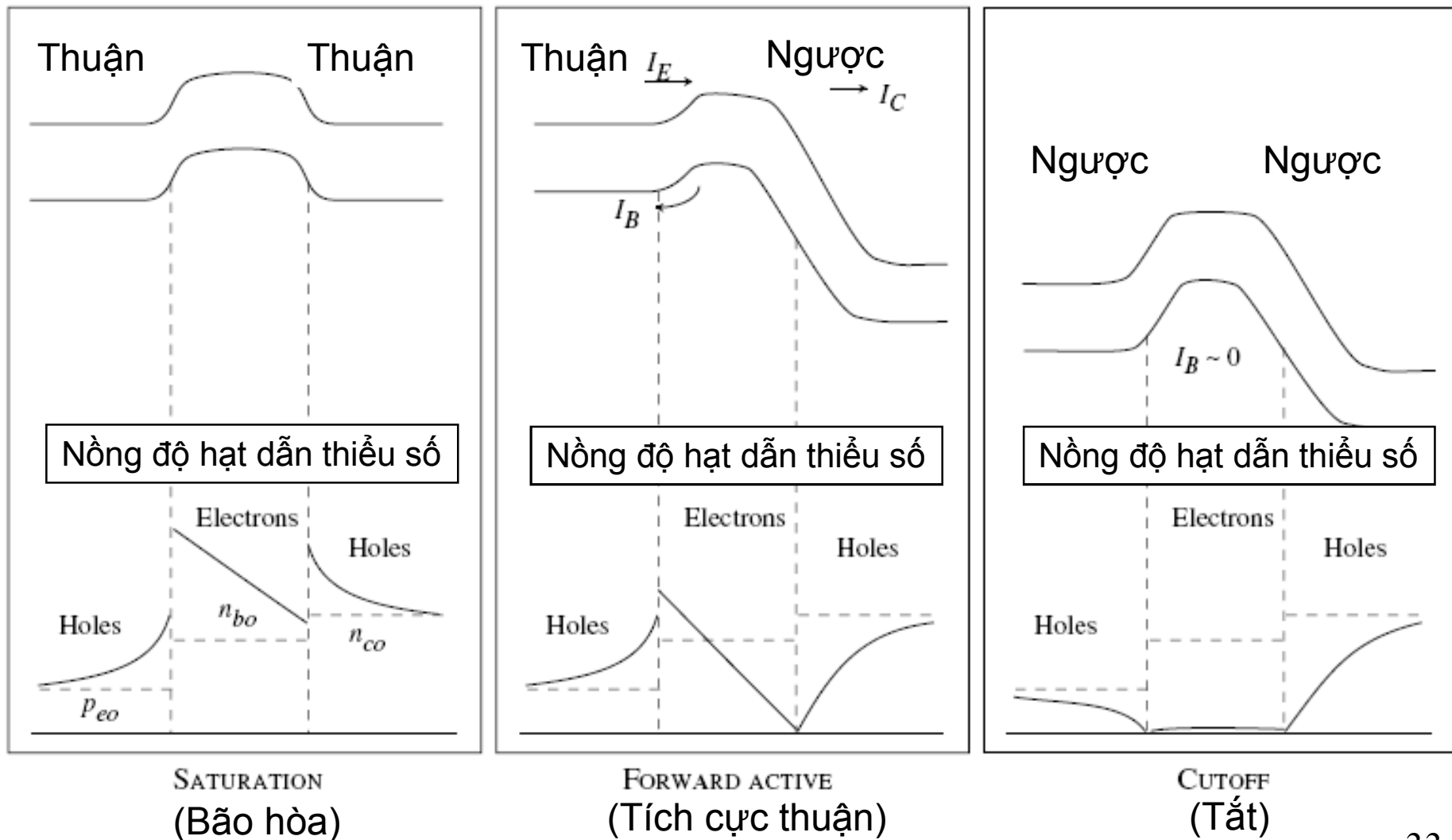


(b) sự phân bố hạt dẫn thiểu số trong các miền phát, nền, và thu.

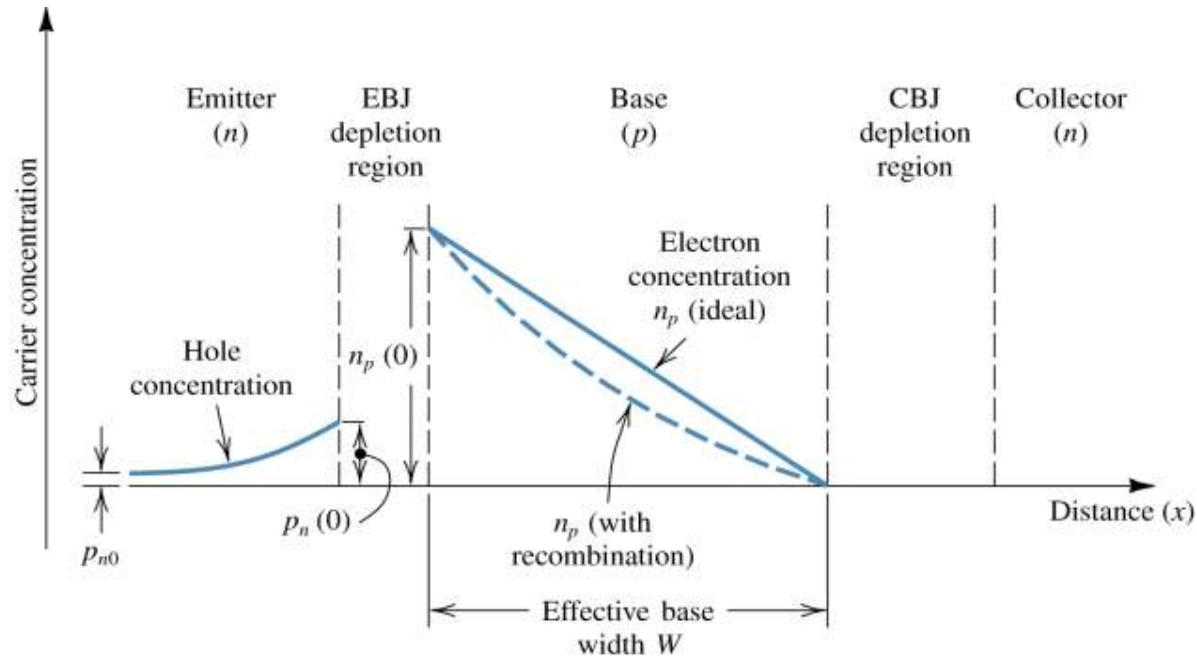
Hình 5.7 BJT NPN ở chế độ tích cực thuận.

Chú ý: $n_{eo}=N_{DE}$, $p_{bo}=N_{AB}$, và $n_{co}=N_{DC}$

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

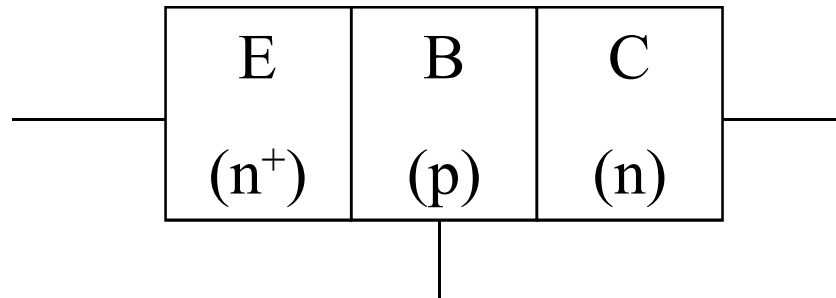


Sự phân bố nồng độ hạt dẫn thiểu số



- Dòng điện chính là dòng điện tử từ miền phát vào miền nền 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

Phân tích đơn giản hóa



p_{e0} , n_{b0} và p_{c0} = nồng độ hạt dẫn (ở đkcb) của hạt dẫn thiểu số ở E, B, và C

$p_e(0)$, $n_b(0)$ và $p_c(0)$ = nồng độ hạt dẫn thiểu số ở cạnh miền nghèo (tích cực thuận)

$\delta p_e(0)$, $\delta n_b(0)$ và $\delta p_c(0)$ = nồng độ hạt dẫn dôi ra ở cạnh miền nghèo

$$\delta p_e(0) = p_e(0) - p_{e0} = p_{e0} [\exp(V_{BE} / V_T) - 1]$$

$$\delta n_b(0) = n_b(0) - n_{b0} = n_{b0} [\exp(V_{BE} / V_T) - 1]$$

Bằng cách lấy độ dốc của các phân bố hạt dẫn thiểu số này ở các cạnh miền nghèo và nhân nó cho qAD_n (hay qAD_p), ta có được dòng điện tử (hay dòng lỗ).

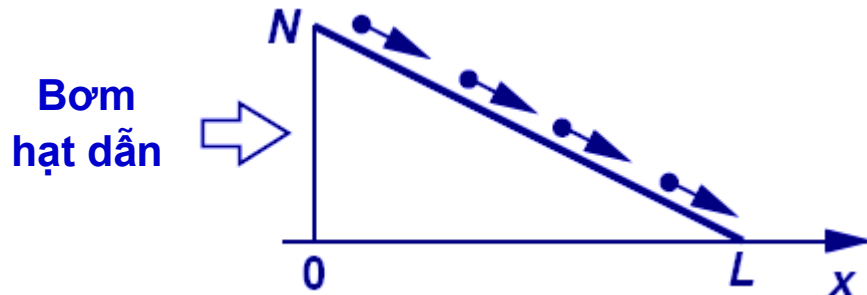
Chú ý là $I_n = q A D_n (dn / dx)$ và $I_p = - q A D_p (dp / dx)$

Các phân bố hạt dẫn thường gặp

- **Phân bố tuyến tính**

→ dòng khuếch tán hằng

$$p = N \left(1 - \frac{x}{L} \right)$$



$$\begin{aligned} J_{p,diff} &= -qD_p \frac{dp}{dx} \\ &= qD_p \frac{N}{L} \end{aligned}$$

- **Phân bố phi tuyến**

→ dòng khuếch tán thay đổi

$$p = N \exp \frac{-x}{L_d}$$



$$\begin{aligned} J_{p,diff} &= -qD_p \frac{dp}{dx} \\ &= \frac{qD_p N}{L_d} \exp \frac{-x}{L_d} \end{aligned}$$

Tính toán các dòng điện (1/3)

Dòng [điện ở cực] thu, I_C

$$\begin{aligned} I_C &= q A D_B (dn/dx_B) \text{ (độ dốc phải được lấy ở cuối miền nền)} \\ &= q A D_B [n_b(0) - 0] / W_B \\ &= q A D_B n_b(0) / W_B \end{aligned}$$

$$I_C = q A (D_B/W_B) n_{b0} [\exp (V_{BE} / V_T) - 1] = I_S [\exp (V_{BE} / V_T) - 1]$$

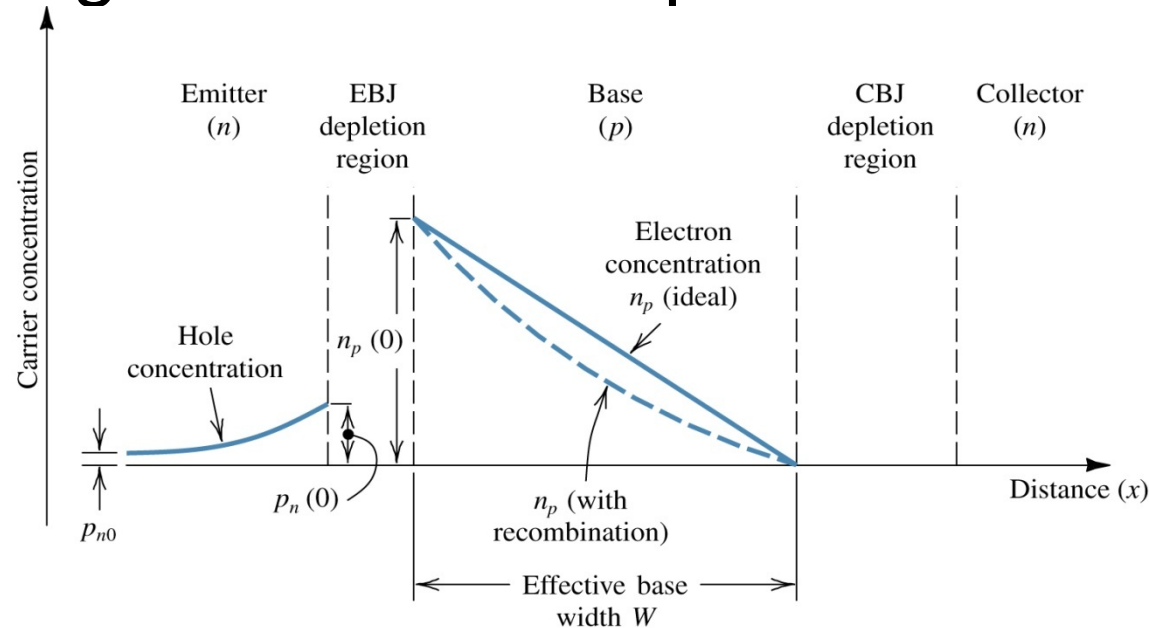
$$I_C \approx I_S \exp (V_{BE} / V_T)$$

(chỉ có dòng do điện tử khuếch tán nếu ta bỏ qua dòng bão hòa ngược của J_C bị phân cực ngược)

với $I_S = qA(D_B/W_B) n_{b0} = qAD_n n_i^2/(W_B N_{AB})$ là dòng bão hòa

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

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):

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

- 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

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 với điện thế cao tại C.

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

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

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

- 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

Dòng [điện] nền

- Dòng nền i_B được tạo nên từ 2 thành phần
 - Lỗ được bơm từ miền nền vào miền phát ($i_{B1}=I_p^{BE}$)

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

- 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 ($i_{B2}=I_{BE}^R$)

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

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

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

Tính toán các dòng điện (2/3)

Dòng [điện ở cực] phát, I_E

- I_E được tạo nên bởi 2 thành phần (I_{En} và I_{Ep})

□ Thành phần I_{En}

$$\begin{aligned} I_{En} &= I_c + \text{dòng điện bị mất đi ở miền nền do tái hợp} \\ &= I_c + \text{điện tích chứa dôi ra ở miền nền}/\tau_B \\ &= I_c + q A W_B \delta n_b(0)/\tau_B \end{aligned}$$

(τ_B là thời gian sống của hạt dẫn thiểu số)

$$I_{En} \approx qA(D_B/W_B)n_{b0} \exp(V_{BE}/V_T) + qA(W_B/2\tau_B)n_{b0} \exp(V_{BE}/V_T)$$

□ Thành phần I_{Ep}

I_{Ep} tương ứng với sự bơm dòng lỗ từ nền vào phát (do J_E được phân cực thuận).

$$I_{Ep} = q A (D_E/L_E)p_{e0}[\exp(V_{BE}/V_T) - 1] \approx qA(D_E/L_E) p_{e0} \exp(V_{BE}/V_T)$$

Tính toán các dòng điện (3/3)

Dòng [điện ở cực] nền, I_B

- cung cấp lỗ cho sự tái hợp tại miền nền
- cung cấp lỗ cho sự bơm vào miền phát

$$I_B = qAn_{b0} (W_B/2\tau_B) \exp(V_{BE}/V_T) + qA(D_E/L_E)p_{e0}\exp(V_{BE}/V_T)$$

(tái hợp) + (bơm lỗ vào miền phát)

Với các phương trình dòng điện I_E , I_B , và I_C , ta có thể dễ dàng tìm được các tham số khác của BJT.

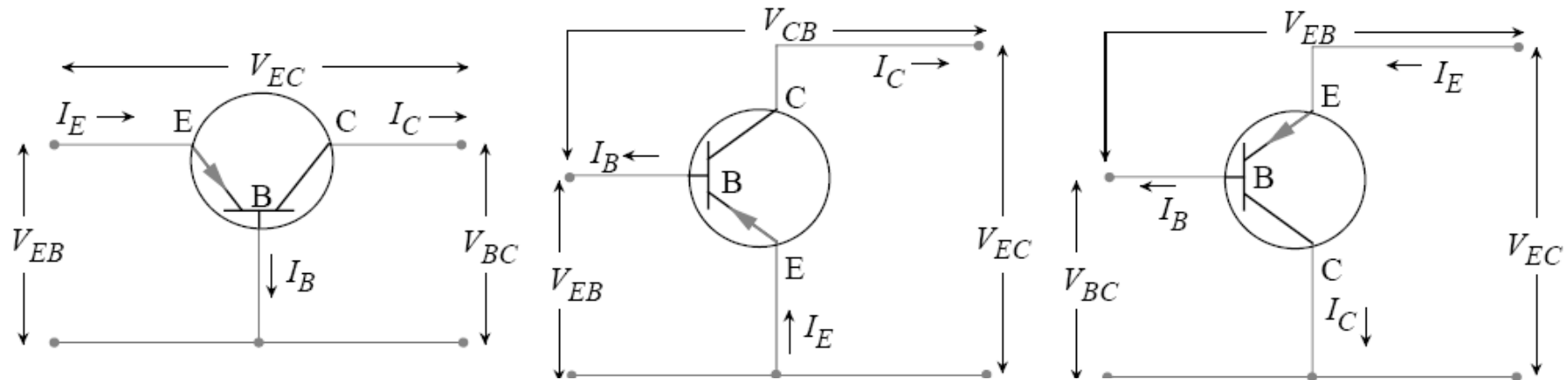
Tóm tắt quan hệ dòng-áp của BJT ở chế độ tích cực thuận

npn	pnp
$i_C = I_S \exp(v_{BE}/V_T)$	$i_C = I_S \exp(v_{EB}/V_T)$
$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \frac{I_S}{\alpha} \exp(v_{BE}/V_T)$	$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \frac{I_S}{\alpha} \exp(v_{EB}/V_T)$
$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} \exp(v_{BE}/V_T)$	$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} \exp(v_{EB}/V_T)$
Với cả hai loại BJT	
$i_E = i_C + i_B$	$i_C = \beta i_B$
$i_E = (1 + \beta) i_B$	$i_C = \alpha i_E = \left(\frac{\beta}{1 + \beta} \right) i_E$
$\alpha = \left(\frac{\beta}{1 + \beta} \right)$	$\beta = \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)$

Chú ý:

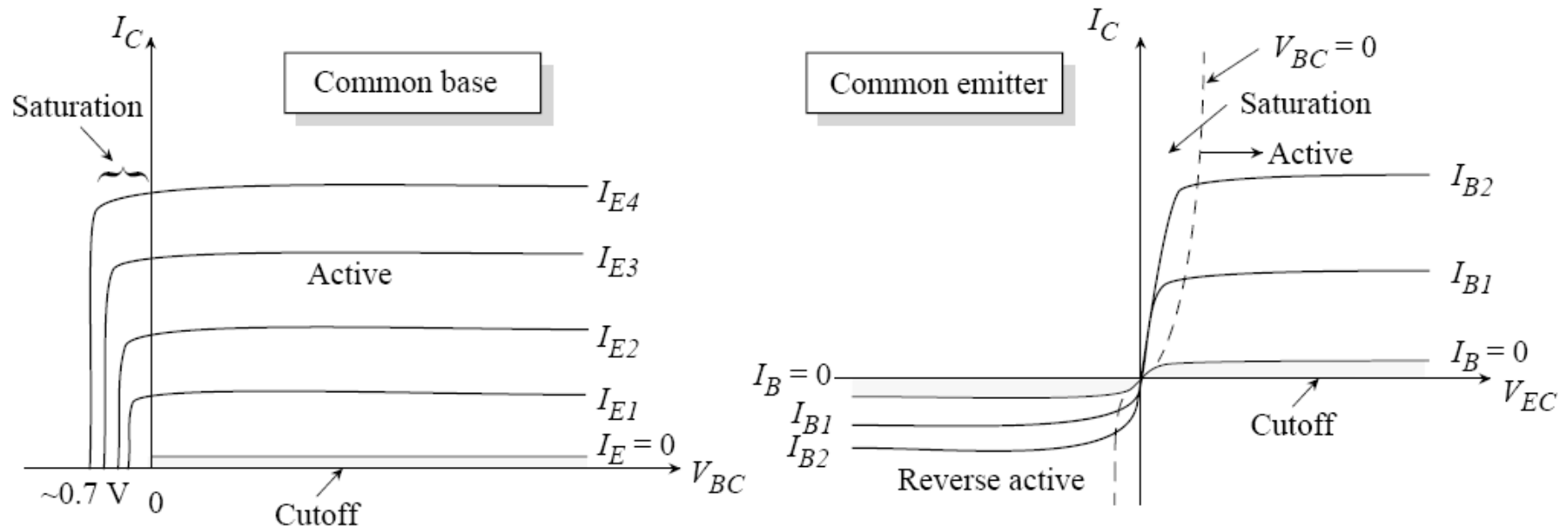
- I_S = dòng bão hòa (phụ thuộc nhiều vào cấu tạo của dụng cụ và nhiệt độ)
- V_T = điện áp nhiệt = kT/q (=0.026V ở 300°K)
- β = độ lợi dòng CE
- α = độ lợi dòng CB

5.3.2 Các cách mắc BJT trong mạch



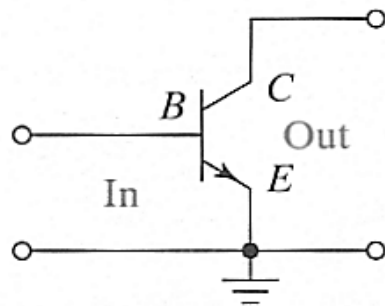
CB=Common Base=Nền chung CE=Common Emitter=Phát chung CC=Common Collector=Thu chung

(a) Ba cấu hình có thể gặp khi dùng BJT trong các mạch điện tử.

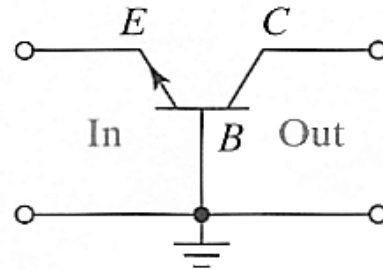


(b) Đặc tuyến dòng-áp (I - V) của BJT ở cấu hình nền chung (CB) và phát chung (CE).

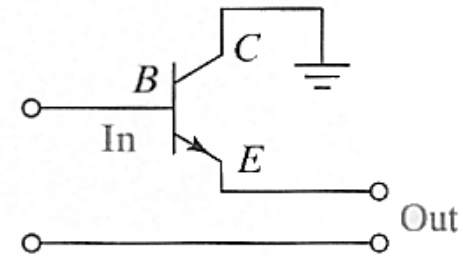
Other BJT Configurations



Common
emitter

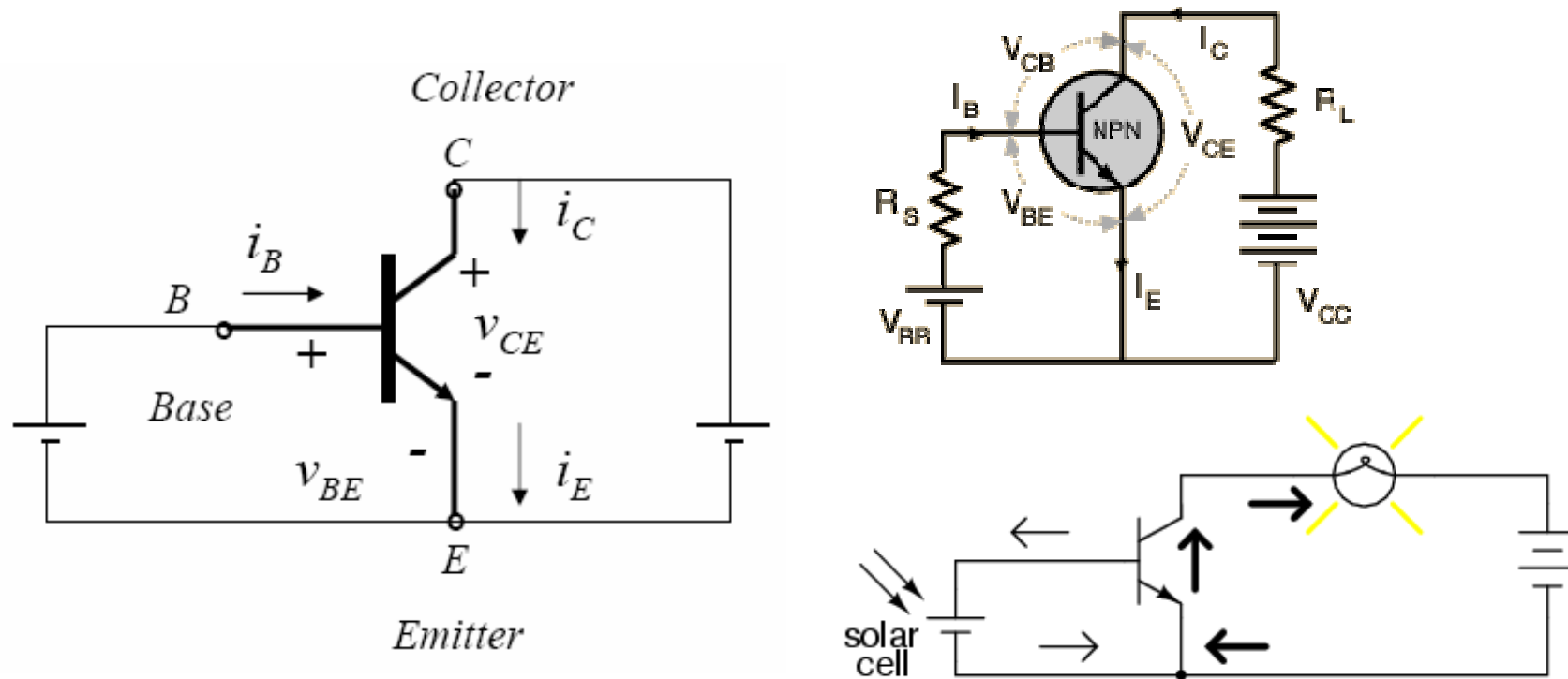


Common
base



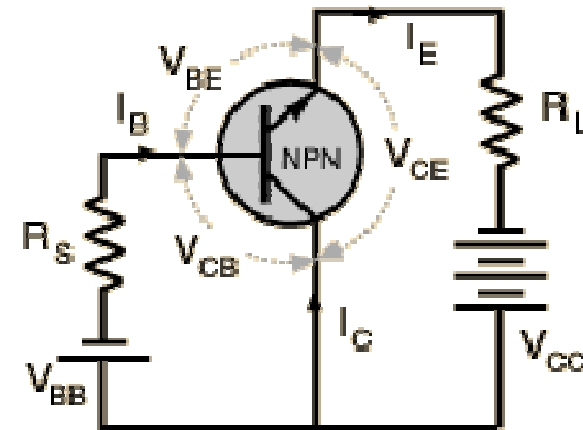
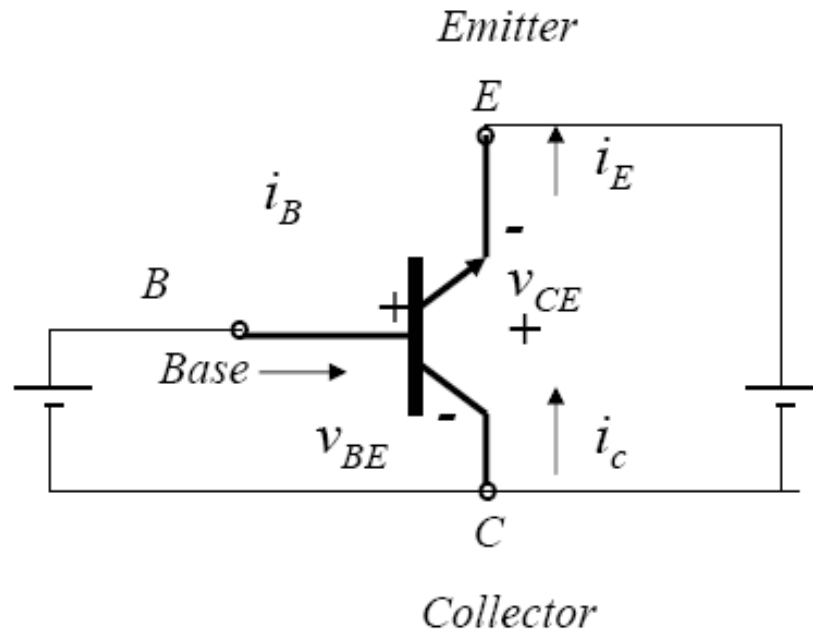
Common
collector

Common-emitter



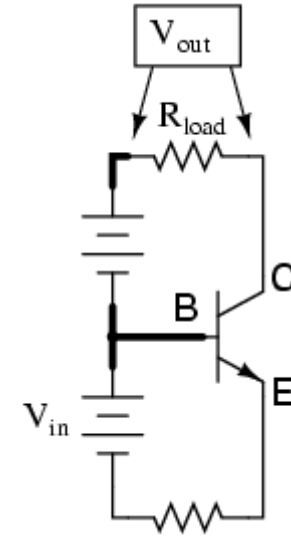
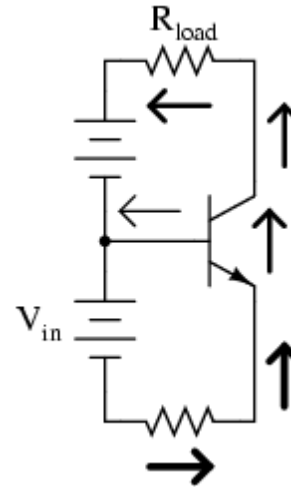
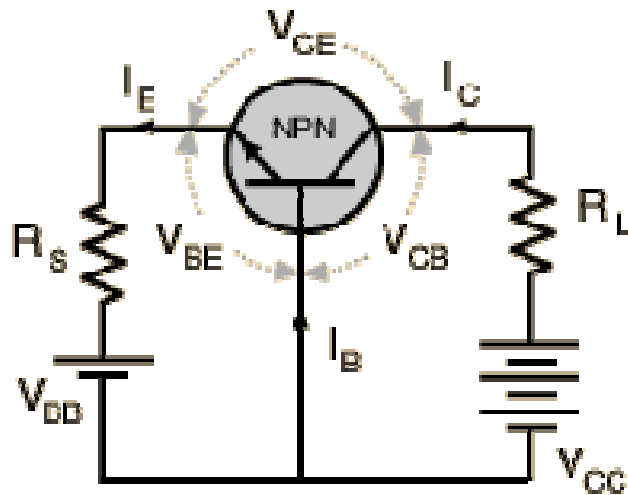
It is called the *common-emitter* configuration because (ignoring the power supply battery) both the signal source and the load share the emitter lead as a common connection point.

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.

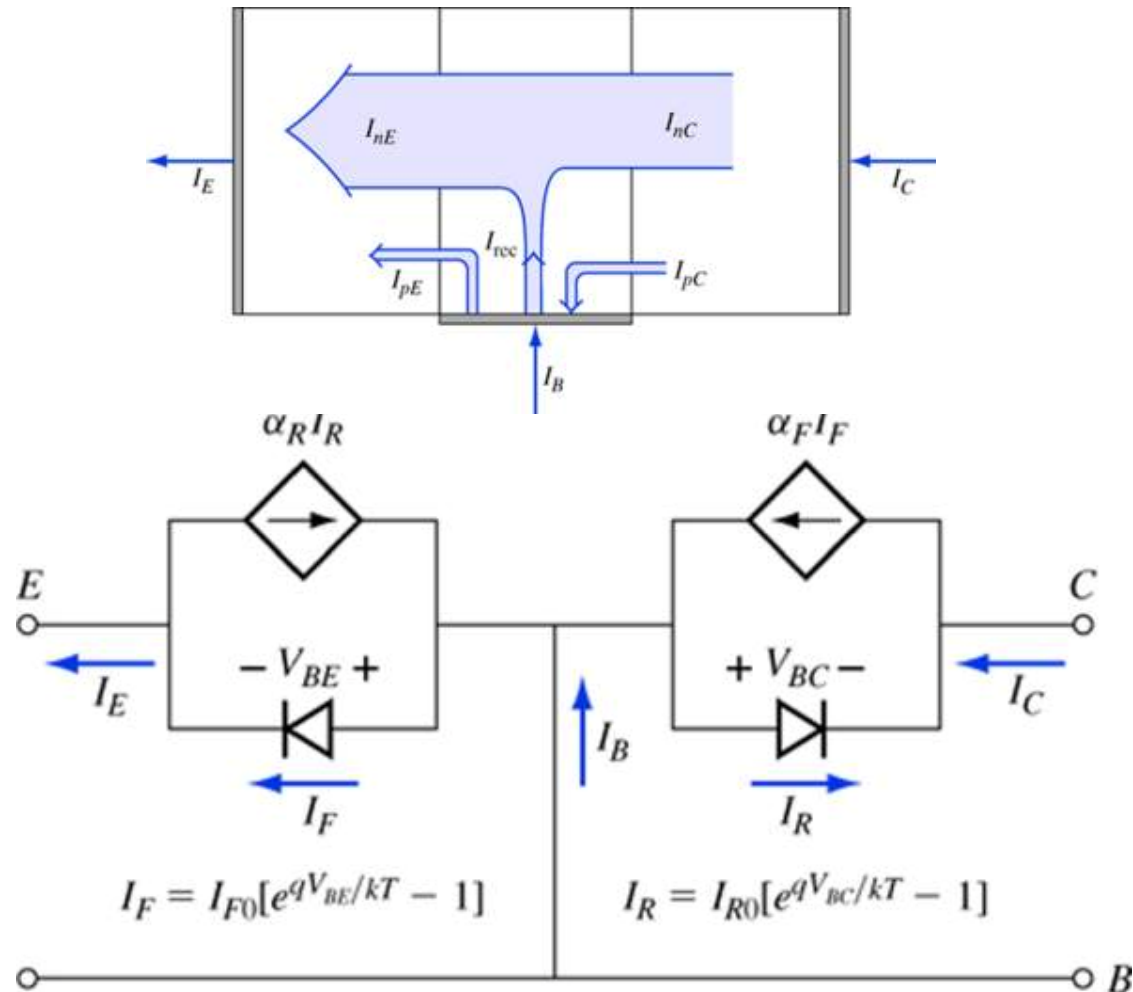
Common-base



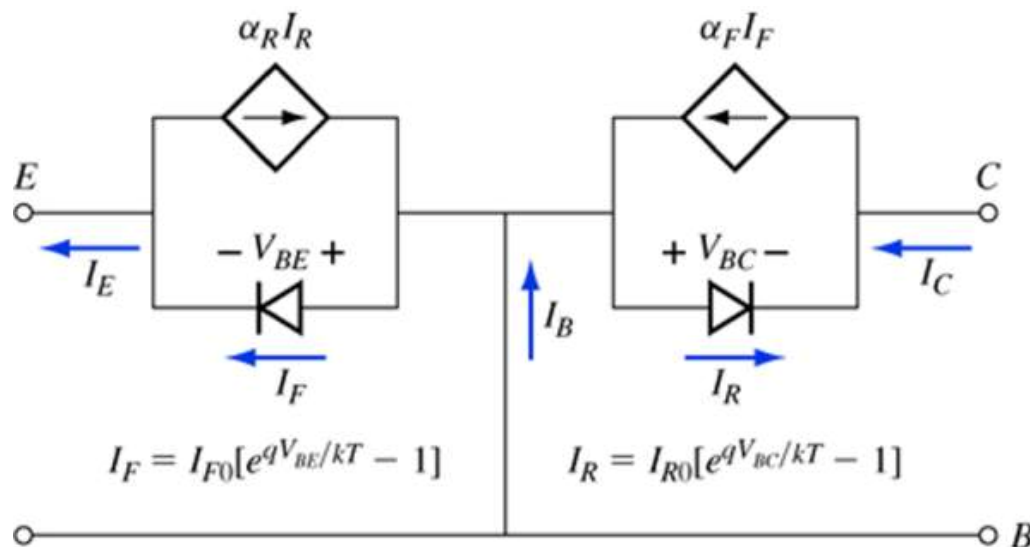
This configuration is more complex than the other two, and is less common due to its strange operating characteristics.

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.

5.3.3 Dòng [điện]- [Điện] áp: Mô hình Ebers-Moll



Mạch tương đương Ebers-Moll của BJT giống như được tạo bởi hai diode ghép lại.



$$I_E = I_F - \alpha_R I_R$$

$$I_C = \alpha_F I_F - I_R$$

$$\begin{aligned} I_B &= I_E - I_C = I_F - \alpha_R I_R - (\alpha_F I_F - I_R) \\ &= I_F (1 - \alpha_F) + I_R (1 - \alpha_R) \end{aligned}$$

Các độ lợi dòng CB thuận và ngược
quan hệ với nhau theo

$$\alpha_F I_{F0} = \alpha_R I_{R0} = I_S$$

α_F : Độ lợi dòng CB thuận

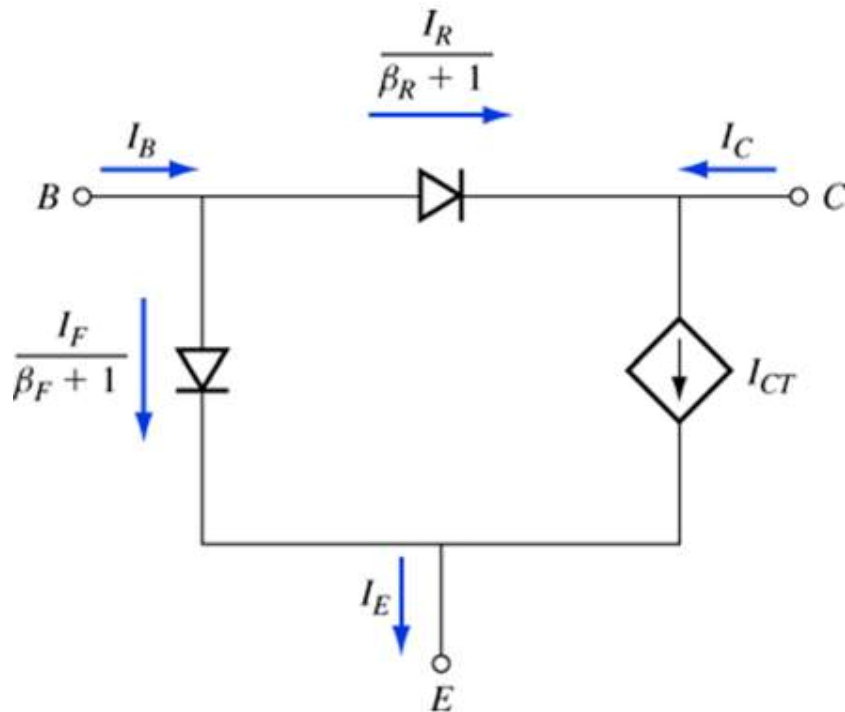
α_R : Độ lợi dòng CB ngược

I_F : Dòng điện diode nền-phát

I_R : Dòng điện diode nền-thu

Một khi chúng ta biết các tham số này, ta có thể tìm ra đặc tuyến I-V của BJT

Biểu diễn CE của mô hình Ebers-Moll.



$$\beta_F = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F}, \alpha_F = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1}$$

$$\beta_R = \frac{\alpha_R}{1 - \alpha_R}, \alpha_R = \frac{\beta_R}{\beta_R + 1}$$

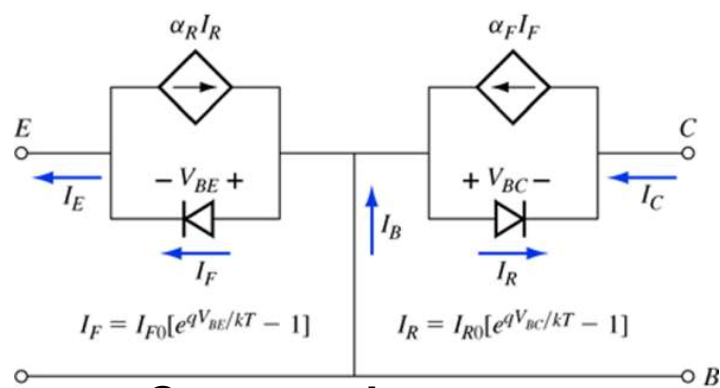
$$I_{CT} = (\alpha_F I_F - \alpha_R I_R) = \frac{\beta_F I_F}{\beta_F + 1} - \frac{\beta_R I_R}{\beta_R + 1}$$

như vậy

$$I_E = I_{CT} + \frac{I_F}{\beta_F + 1} = I_F - \alpha_R I_R$$

$$I_C = I_{CT} - \frac{I_R}{\beta_R + 1} = \alpha_F I_F - I_R$$

$$I_B = \frac{I_F}{\beta_F + 1} + \frac{I_R}{\beta_R + 1} = \frac{I_S}{\beta_F} (e^{qV_{BE}/kT} - 1) + \frac{I_S}{\beta_R} (e^{qV_{BC}/kT} - 1)$$



Common base