

**Bagian 5**  
**KARAKTERISTIK TRANSISTOR**

**5.1. Junction transistor**

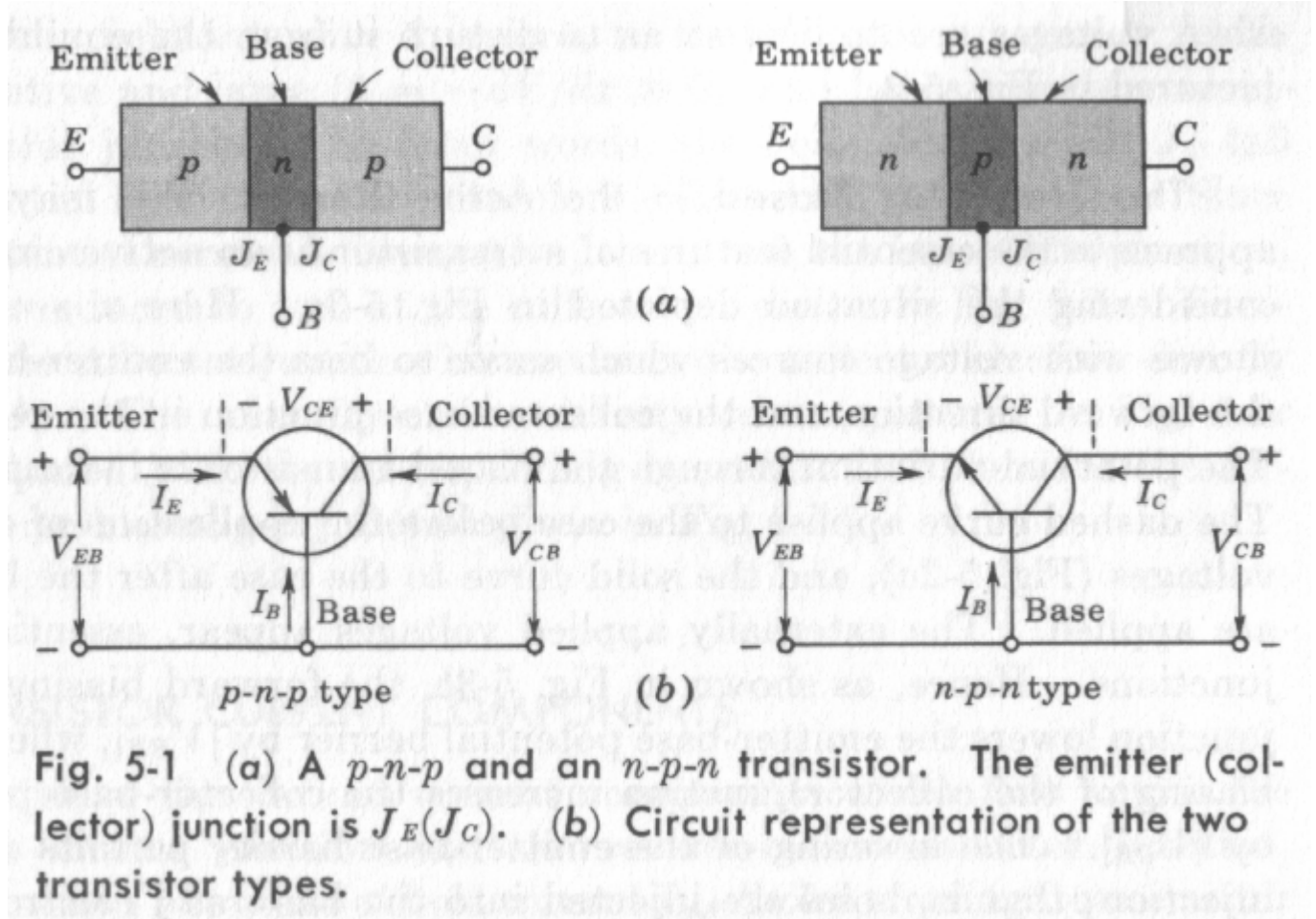


Fig. 5-1 (a) A p-n-p and an n-p-n transistor. The emitter (collector) junction is  $J_E(J_C)$ . (b) Circuit representation of the two transistor types.

**Transistor Open-Circuit**

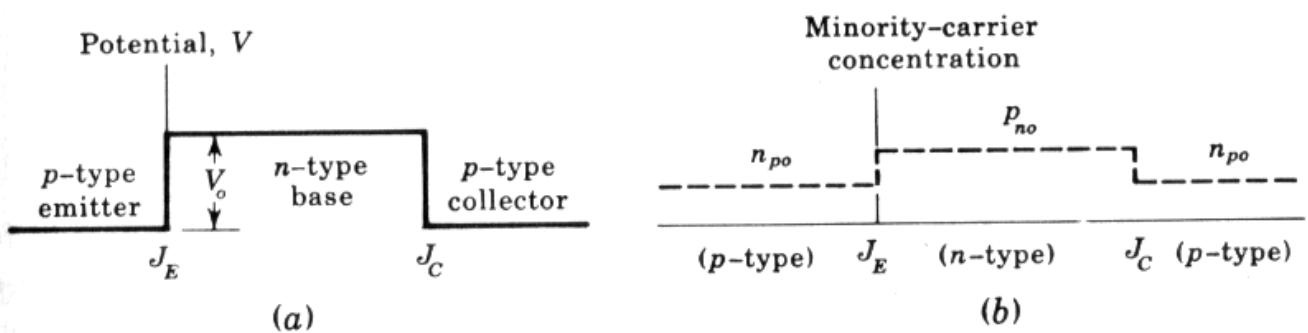


Fig. 5-2 (a) The potential and (b) the minority-carrier density in each section of an open-circuited symmetrical p-n-p transistor.

**Transistor terbias pada daerah aktif (*active region*)**

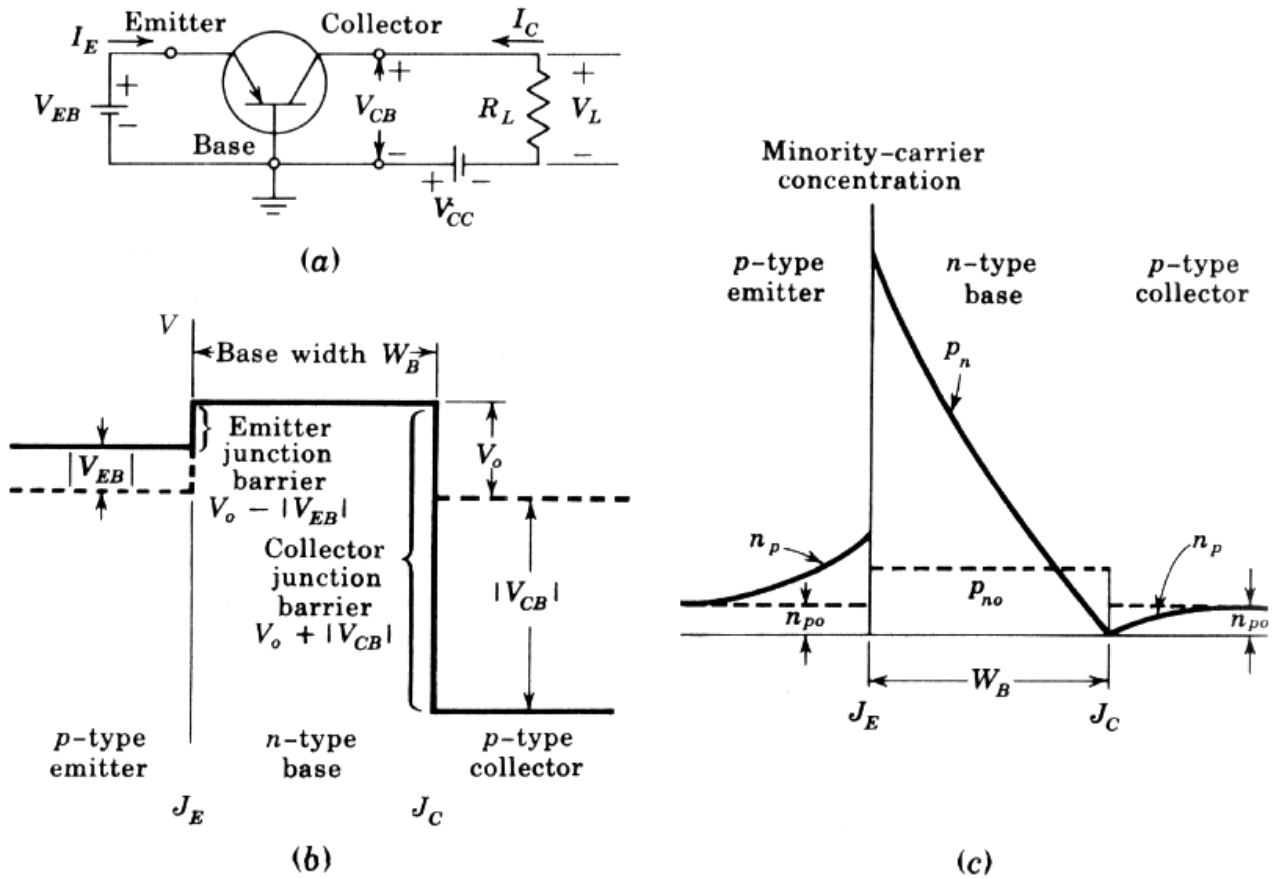


Fig. 5-3 (a) A  $p-n-p$  transistor biased in the active region (the emitter is forward-biased and the collector is reverse-biased). (b) The potential variation through the transistor. The narrow depletion regions at the junctions are negligibly small. (c) The minority-carrier concentration in each section of the transistor. It is assumed that the emitter is much more heavily doped than the base.

## 5.2 Komponen-komponen arus transistor

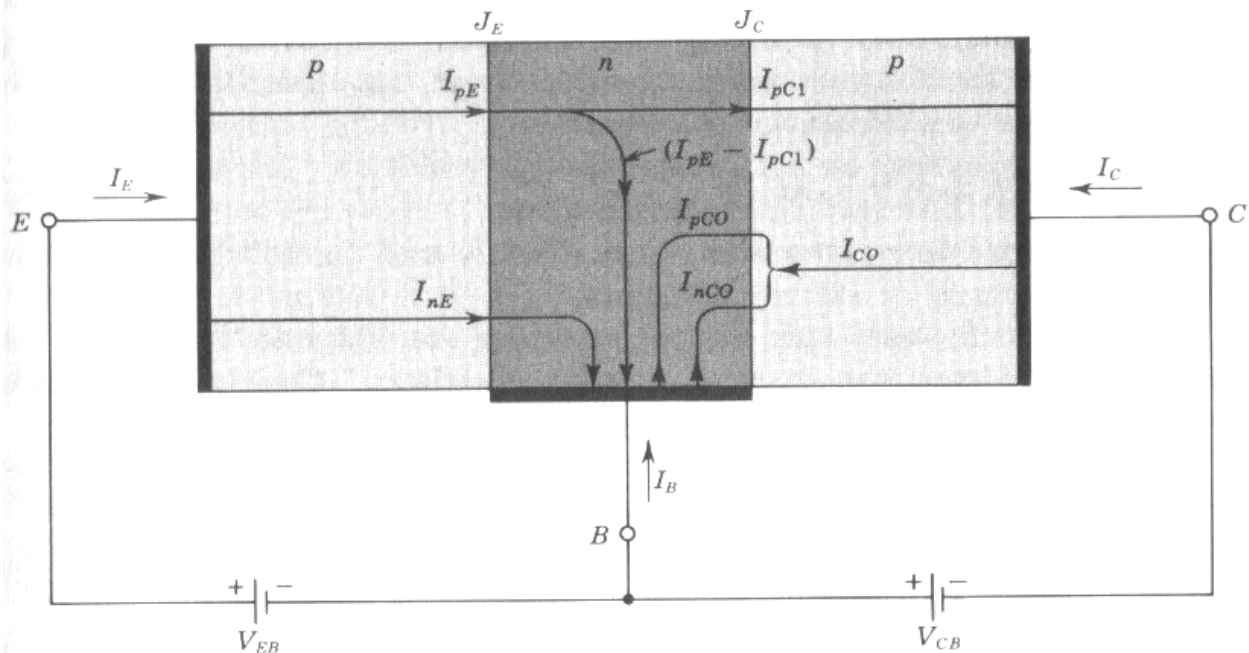


Fig. 5-4 Transistor current components for a forward-biased emitter junction and a reversed-biased collector junction. If a current has a subscript  $p(n)$ , it consists of holes (electrons) moving in the same (opposite) direction as the arrow indicating the current direction.

- Arus  $I_E$  terdiri atas arus *hole*  $I_{pE}$  (arus *hole* dari emitor ke basis) dan arus elektron  $I_{nE}$  (arus elektron dari basis ke emitor).

$$I_E = I_{pE} + I_{nE} \quad (5.1)$$

Untuk *pn*p, seluruh nilai arus di atas bernilai positif. Untuk *np*n, berlaku sebaliknya.

- Rasio arus *hole* terhadap arus elektron,  $I_{pE}/I_{nE}$ , proporsional terhadap rasio konduktivitas materi *p* terhadap materi *n*.
- Pada transistor komersial, doping emitor lebih besar dari doping basis, untuk memastikan bahwa arus emitor didominasi oleh arus *hole*. Hal ini dilakukan karena arus elektron tidak memberikan kontribusi terhadap fungsi utama transistor, yaitu menyalurkan *carrier* ke kolektor.
- Sebagian dari arus *hole* yang melintasi *junction* emitor akan menyeberang hingga *junction* kolektor ( $I_{pC1}$ ), sebagian lagi akan melakukan rekombinasi di basis sebesar  $(I_E - I_{pC1})$ .
- Pada saat emitor *open-circuit* dan kolektor mendapat bias mundur (*reverse biased*),  $I_C$  dipastikan sama dengan arus saturasi balik  $I_{CO}$  (ingat dioda terbias mundur !).

Arus balik ini terdiri atas dua komponen,  $I_{nCO}$  yang terdiri atas arus elektron dari *p* menuju *n* melintasi  $J_C$  dan arus *hole* dari *n* menuju *p* melintasi  $J_C$ ,  $I_{pCO}$ .

$$-I_{CO} = I_{nCO} + I_{pCO} \quad (5.2)$$

Karena emitor *open-circuit*, maka  $I_E = 0$ , sehingga  $I_{pCO}$  terjadi terhadap sejumlah kecil *hole* yang terbentuk secara termal di dalam basis.

- Pada kondisi seperti gambar 5.4 di atas, dimana emitor juga mendapat bias maju,

$$I_C = I_{CO} - I_{pC1} = I_{CO} - \alpha I_E \quad (5.3)$$

$\alpha$  merupakan fraksi terhadap arus emitor total, yang menunjukkan jumlah *hole* yang menyeberang ke  $J_C$ .

Untuk transistor *pnp*,  $I_E$  bernilai positif dan arus  $I_C$  serta  $I_{CO}$  bernilai negatif. Untuk transistor *npn* arah arus akan terbalik.

- Difusi total arus *hole* yang melintasi  $J_C$  dari basis adalah :

$$I_{pC} \equiv I_{pC1} + I_{pCO} \quad (5.4)$$

yang nilainya sebanding dengan gradien distribusi  $p_n$  pada  $J_C$ , spt pada gambar 5.3c

### Large-signal Current Gain, $\alpha$

$\alpha$  dapat didefinisikan sebagai rasio peningkatan arus-kolektor negatif dari *cutoff* terhadap perubahan arus emitor dari *cutoff* ( $I_E = 0$ ) atau

$$\alpha \equiv -\frac{I_C - I_{CO}}{I_E - 0} \quad (5.5)$$

$\alpha$  dinamakan *large-signal current gain* untuk transistor *common-base*. Karena  $I_C$  dan  $I_E$  memiliki tanda yang berlawanan (baik untuk *pnp* maupun *npn*), maka  $\alpha$  selalu bernilai positif.

Biasanya  $\alpha$  bernilai antara 0,90 hingga 0,995. Perlu dicatat bahwa nilai  $\alpha$  tidak konstan, melainkan berubah terhadap arus emitor ( $I_E$ ), tegangan kolektor ( $V_{CB}$ ), dan suhu.

### Persamaan Umum untuk transistor

Persamaan 5.3 di atas hanya berlaku untuk transistor dalam *daerah aktif* (*active region*). Pada kondisi ini, arus kolektor tidak tergantung pada tegangan kolektor dan hanya tergantung pada arus emitor.

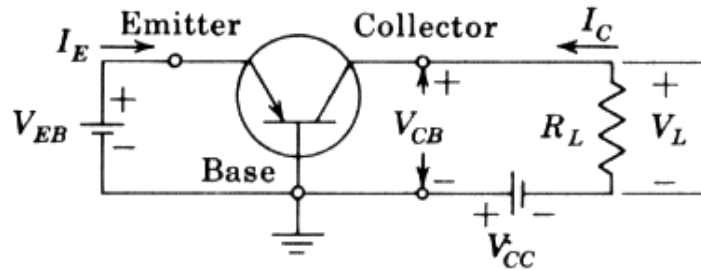
Bentuk persamaan transistor yang berlaku untuk berbagai keadaan adalah :

$$I_C = -\alpha I_E + I_{CO} \left(1 - e^{V_C/V_T}\right) \quad (5.6)$$

Perlu diperhatikan bahwa jika  $V_C$  bernilai negatif dan memiliki nilai yang jauh lebih besar dari  $V_T$ , maka persamaan 5.6 akan menjadi persamaan 5.3.

Persamaan ini serupa dengan persamaan untuk *photodiode*, yang telah dibahas sebelumnya.

### 5.3 Transistor sebagai penguat (*amplifier*)



Gambar di atas sama dengan gambar 5.3a. Perubahan tegangan sebesar  $\Delta V_i$ , antara emitor dan basis akan menimbulkan perubahan arus-emitor  $\Delta I_E$  yang besar. Didefinisikan simbol  $\alpha'$  untuk menunjukkan fraksi perubahan arus ( $\Delta I_C = \alpha' \Delta I_E$ ) yang terjadi yang kemudian dialirkan ke  $R_L$ .

Perubahan tegangan keluaran yang terjadi pada hambatan beban :

$$\Delta V_L = -R_L \Delta I_C = -\alpha' R_L \Delta I_E$$

bisa bernilai beberapa kali lipat nilai perubahan tegangan masukan  $\Delta V_i$ . Dalam kondisi ini, penguatan tegangan  $A \equiv \Delta V_L / \Delta V_i$  akan bernilai lebih dari satu, dan transistor berfungsi sebagai penguat (*amplifier*). Jika *resistansi dinamis* pada  $J_E$  bernilai  $r_e$ , maka  $\Delta V_i = r_e \Delta I_E$ , dan

$$A \equiv -\frac{\alpha' R_L \Delta I_E}{r_e \Delta I_E} = -\frac{\alpha' R_L}{r_e} \quad (5.7)$$

Sebagai contoh, jika  $r_e = 40 \Omega$ ,  $\alpha' = -1$ , dan  $R_L = 3000 \Omega$ , maka  $A = +75$ .

#### Parameter $\alpha'$

Parameter  $\alpha'$  di atas didefinisikan sebagai rasio perubahan arus kolektor terhadap perubahan arus emitor pada tegangan kolektor-basis konstan, dan dinamakan, *negative of the small-signal short-circuit current transfer ratio*, atau *gain*.

$$\alpha' \equiv \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right|_{V_{CB}} \quad (5.8)$$

Dengan asumsi bahwa  $\alpha$  independen terhadap  $I_E$ , maka  $\alpha' = -\alpha$ .

## 5.4 Konstruksi Transistor

Ada empat teknik dasar yang digunakan untuk membuat dioda, transistor, dan perangkat semikonduktor lain. Berdasarkan cara pembuatannya, secara umum perangkat semikonduktor dapat dibagi atas : *grown*, *alloy*, *diffusion*, atau *epitaxial*.

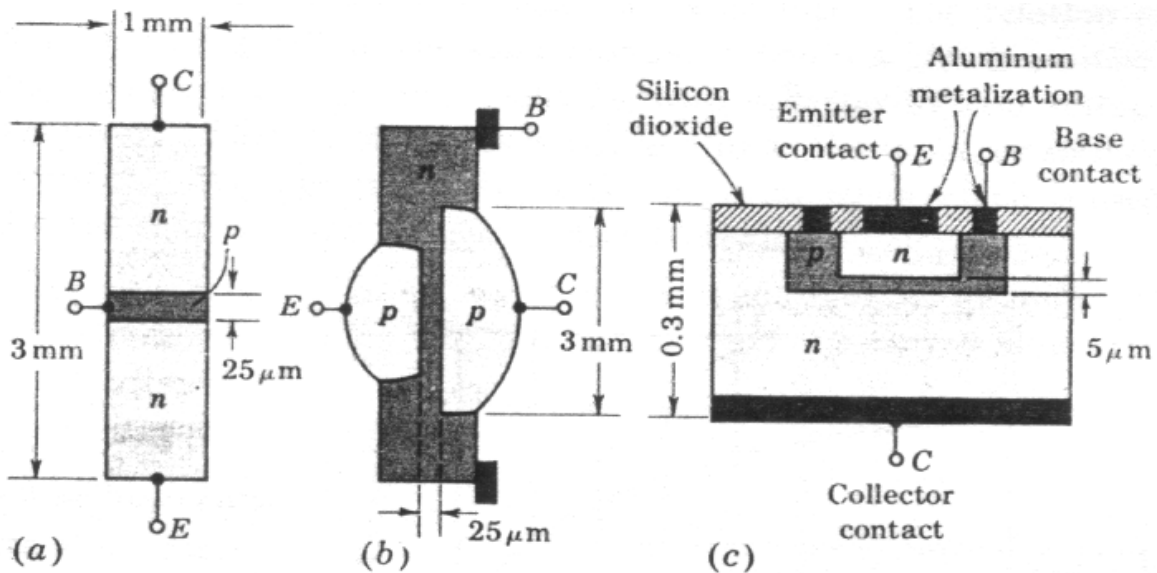
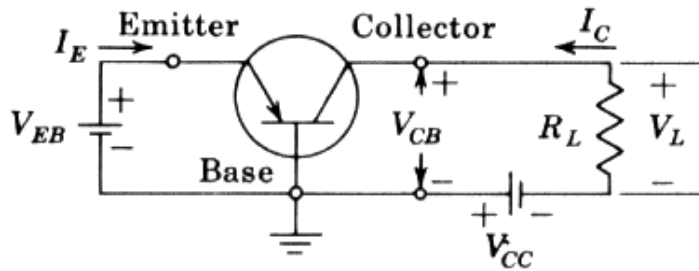


Fig. 5-5 Construction of transistors. (a) Grown, (b) alloy, and (c) diffused planar types. (The dimensions are approximate, and the figures are not drawn to scale.)

- **Tipe *grown***, dibuat dengan menarik kristal tunggal dari silikon atau germanium cair, dimana konsentrasi ketidakmurniannya diubah (*di-doping*) ketika proses penarikan berlangsung.
  - **Tipe *alloy***, dinamakan juga konstruksi *fusi*. Bagian tengah (basis) berupa wafer tipis berjenis-*n*. Dua titik kecil indium ditempelkan pada wafer di dua sisi yang berlawanan. Selanjutnya, struktur dipanaskan dalam waktu singkat, dengan suhu di atas titik cari indium, tapi di bawah titik cair silikon/germanium, sehingga indium tertempel rapat pada wafer. Pada saat pendinginan, terjadi rekristalisasi pada area kontak basis.
- Kolektor dibuat lebih besar dari emitor, agar lebih banyak *carrier* yang terbawa ke kolektor dibandingkan dengan yang terkirim ke basis.
- **Tipe *diffusion***, pembuatan semikonduktor dilakukan melalui proses difusi gas pada lempengan wafer semikonduktor. Gas berisi doping, baik dari jenis-*n* maupun -*p*.
  - **Tipe *epitaxial***, terdiri atas proses penumbuhan kristal tunggal silikon/ germanium yang sangat tipis, berkemurnian tinggi pada substrat (bahan) yang sama, namun telah terdoping dalam jumlah besar. Kristal yang membesar akan membentuk kolektor, di mana padanya akan didifusikan basis dan emitor.

## 5.5 Konfigurasi *Common-Base*



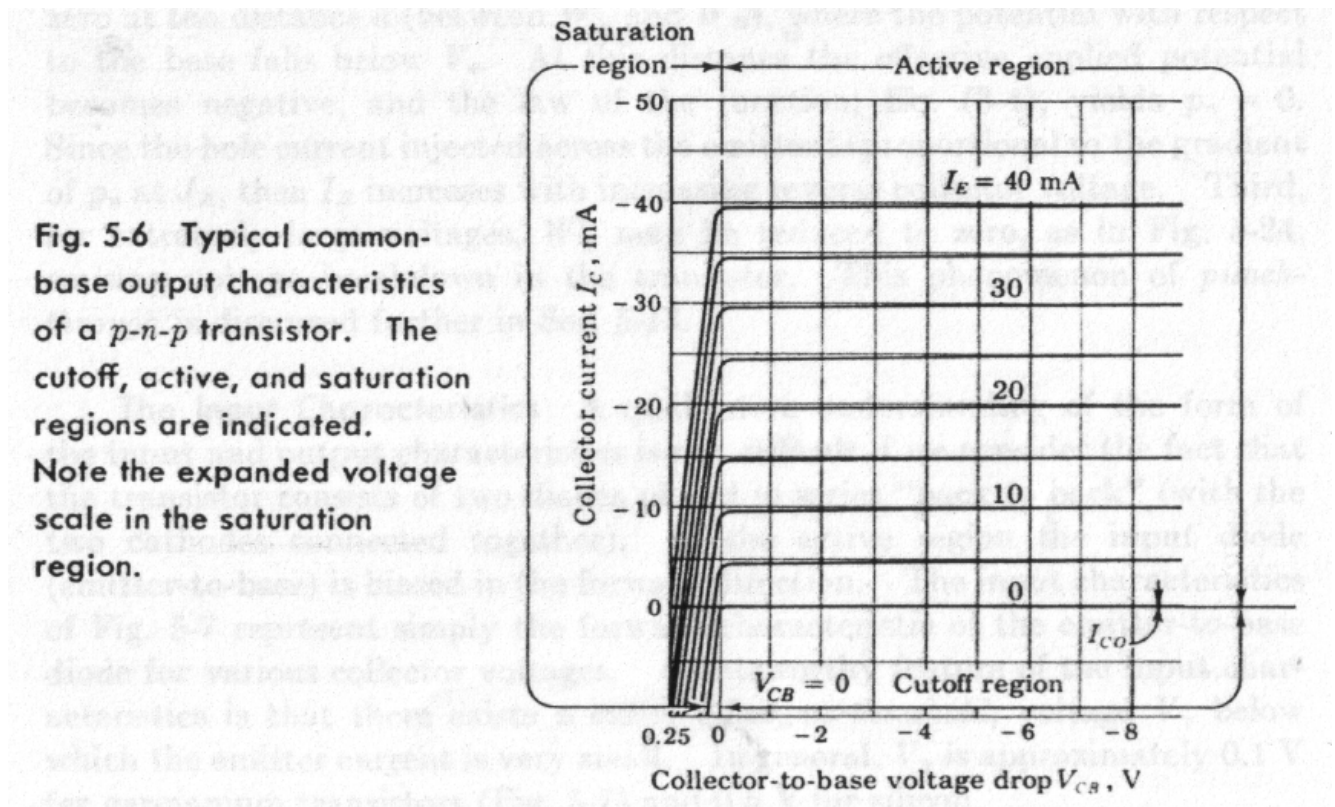
Gambar di atas menunjukkan konfigurasi *grounded-base*, yang dinamakan juga *common-base*. Pada transistor *pnp*, komponen utama arusnya adalah *hole*. Karena *hole* mengalir dari emitor menuju kolektor, dan sebagian menuju *ground* pada terminal basis, maka (lihat gambar 5.1)  $I_E$  bernilai positif,  $I_C$  bernilai negatif, dan  $I_B$  bernilai negatif. Untuk *junction* emitor yang terbias maju,  $V_{EB}$  bernilai positif, dan untuk *junction* kolektor terbias mundur,  $V_{CB}$  bernilai negatif.

Pada transistor *nnp*, seluruh polaritas arus dan tegangan merupakan kebalikan dari transistor *pnp*.

Dari pers.(5.6) terlihat bahwa arus *output*,  $I_C$  sepenuhnya ditentukan oleh arus *input* ( $I_E$ ) dan tegangan *output* (kolektor ke basis)  $V_{CB} = V_C$ . *Output* ini secara implisit dapat ditulis sbb. :

$$I_C = \phi_2 (V_{CB}, I_E) \quad (5.9)$$

(Baca :  $I_C$  merupakan fungsi  $\phi_2$  dari  $V_{CB}$  dan  $I_E$ ).



Demikian juga jika  $V_{CB}$  dan  $I_E$  kita perlakukan sebagai variabel independen, tegangan *input* (emitor ke basis)  $V_{EB}$  sepenuhnya ditentukan oleh kedua variabel independen tersebut. Bentuk implisit karakteristik input ini adalah :

$$I_{EB} = \phi_1 (V_{CB}, I_E) \quad (5.10)$$

**Fig. 5-7** Common-base input characteristics of a typical *p-n-p* germanium junction transistor.

