

電子デバイス工学

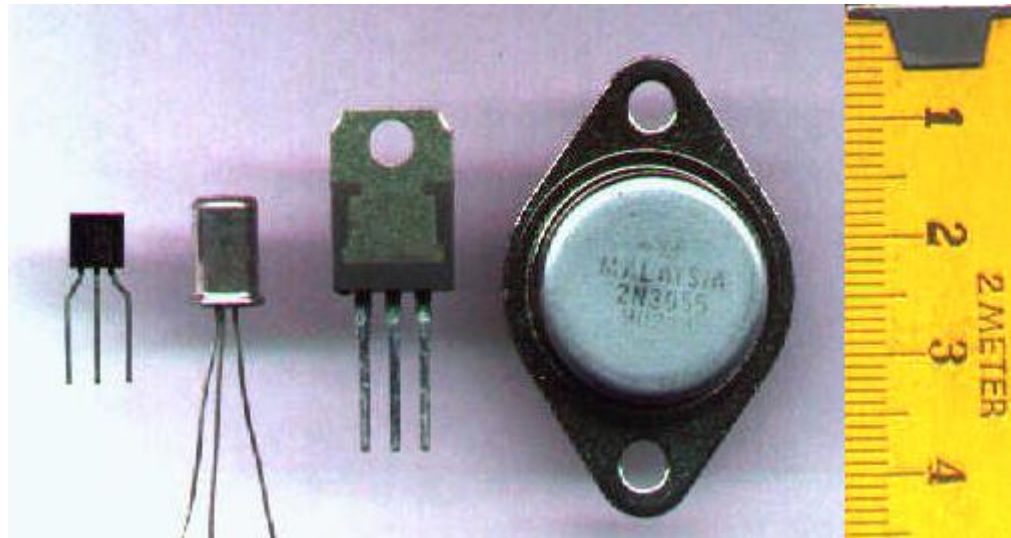
06

バイポーラトランジスタ

(1) 構造と動作原理

トランジスタとは

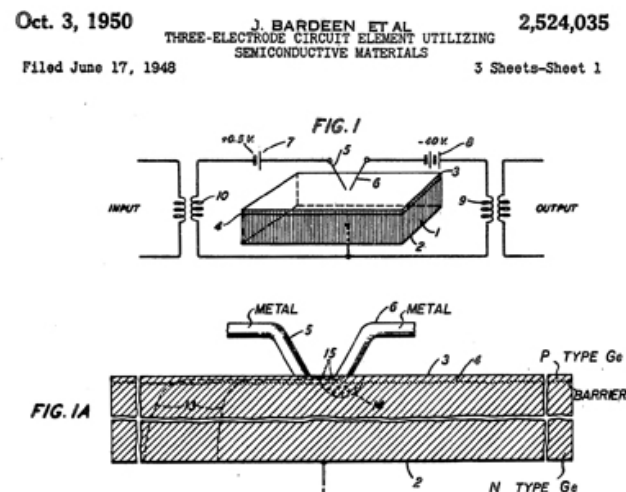
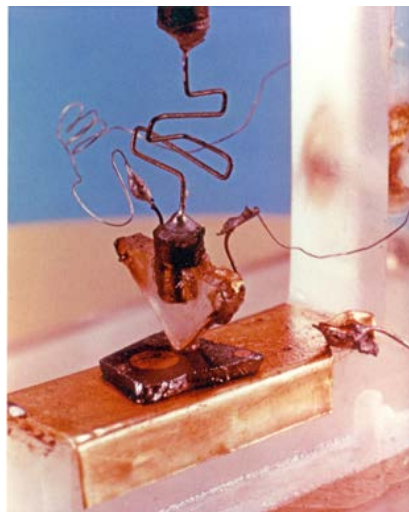
トランジスタ (transistor)とは増幅, またはスイッチ動作をする半導体素子で, 近代の電子工学における主力素子である. transfer (伝達) とresistor (抵抗) を組み合わせた造語(ジョン・R・ピアースによる)である.



トランジスタの歴史



1947年、アメリカのAT&Tベル研究所のジョン・バーディーン(John Bardeen)とウォルター・ブラッテン(Walter Brattain)は、高純度の半導体結晶の表面における電子的性質の研究の過程で、ゲルマニウム結晶に、きわめて近づけて立てた2本の針の片方に電流を流すと、もう片方に大きな電流が流れるという現象を発見した。最初のトランジスタである点接触型トランジスタの発見である。固体物理学部門のリーダーだったウィリアム・ショックレー(William Shockley)はその可能性に気づき、その後数か月間に半導体について大いに研究し、3人の連名で1948年6月30日にトランジスタの発明を発表した。その功績により、1956年にノーベル物理学賞を受賞した。



Bardeen, Brattain, and Shockley (seated)

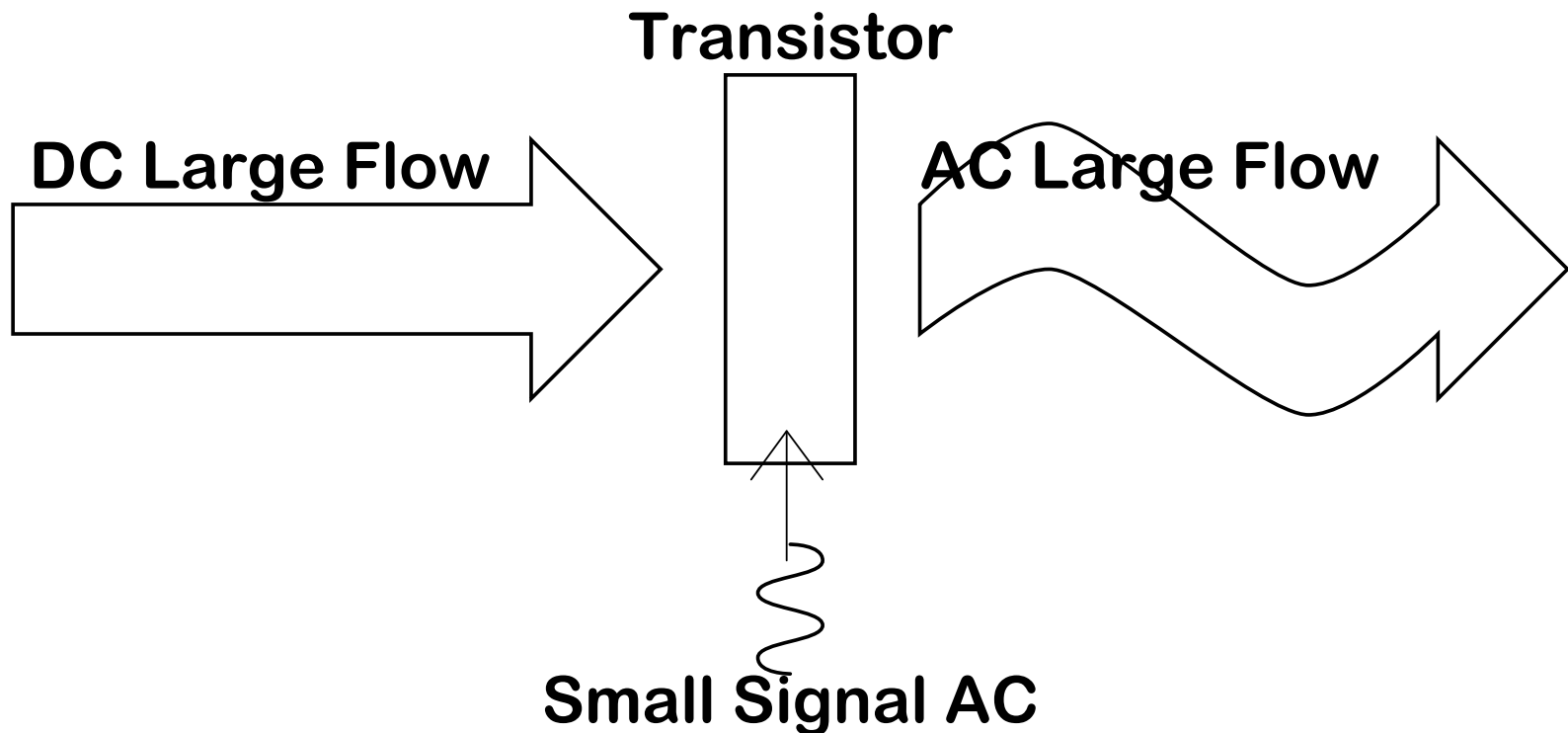
<http://www.computerhistory.org/semiconductor/timeline/1947-invention.html>

トランジスタの「増幅」機能とは？

少ない電力（電流）の小信号で、大きな電力（電流）の流れを制御する



小信号を増幅したような波形の信号が得られる



他の教科書での説明例

Umesh K. Mishra, Jasprit Singh: Semiconductor Device Physics and Design (Springer Verlag, 2008). p.248.

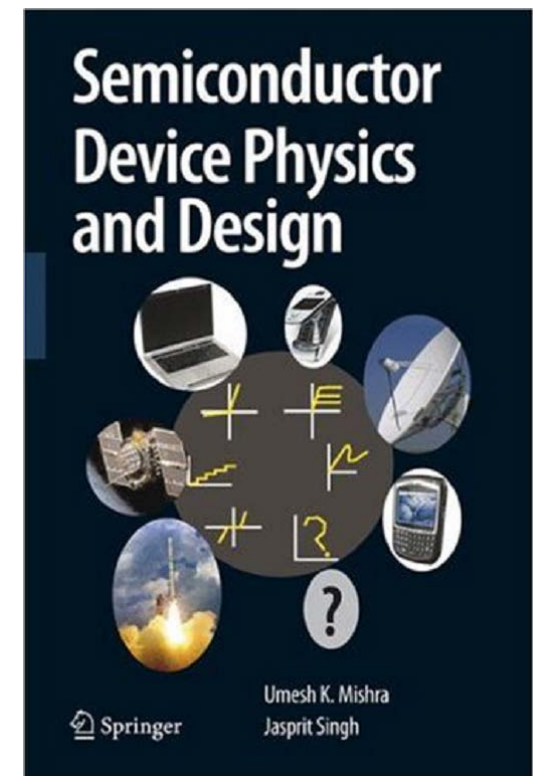
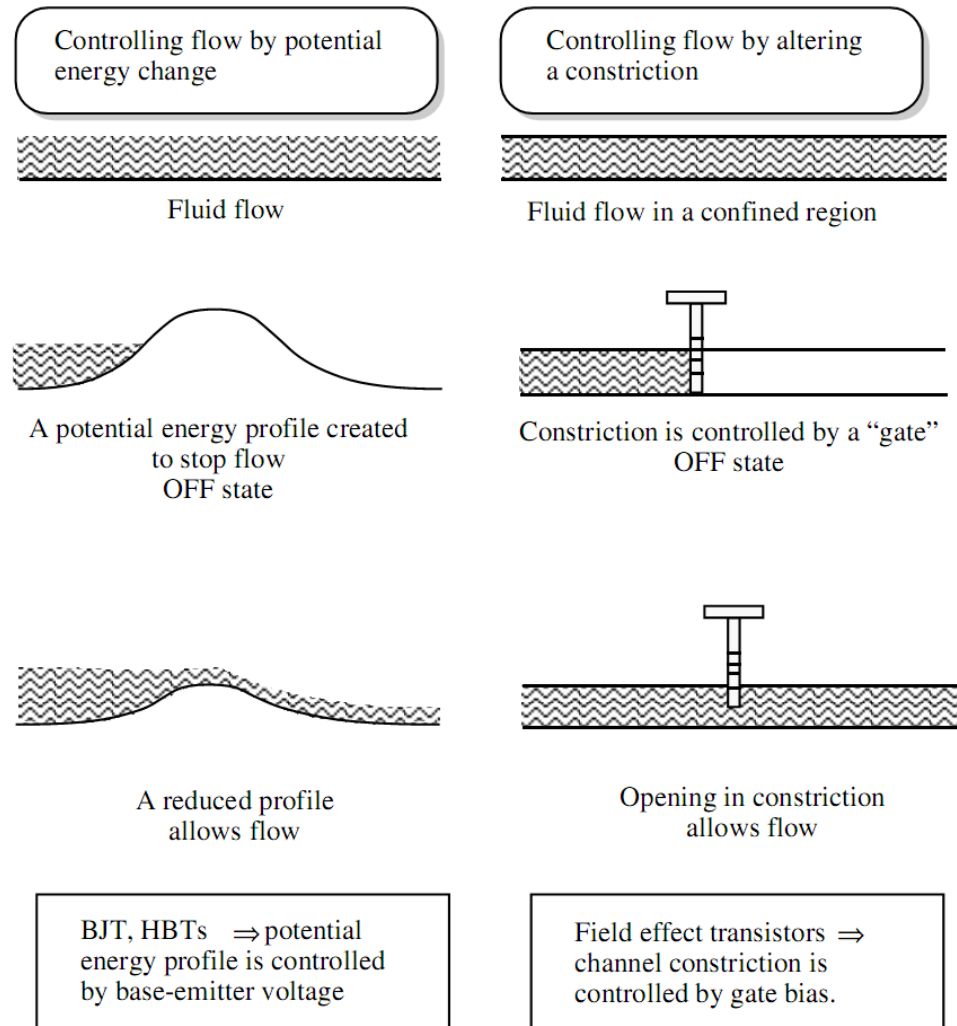
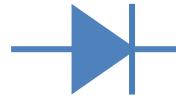
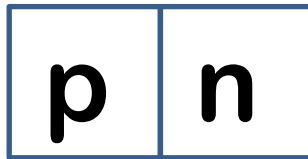


Figure 6.2: Two different ways to control flow of a fluid. The bipolar and field effect transistors use these two approaches to control current flow.

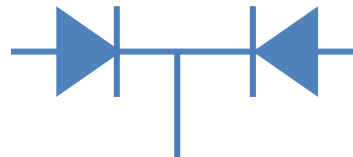
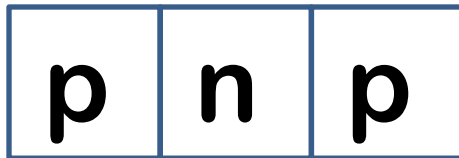
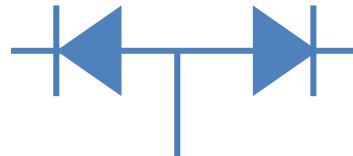
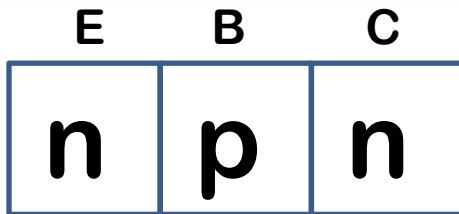
ダイオードとトランジスタ の見た目の構造

ダイオードの構造



p形半導体とn形半導体の原子レベルでの接合

トランジスタの構造



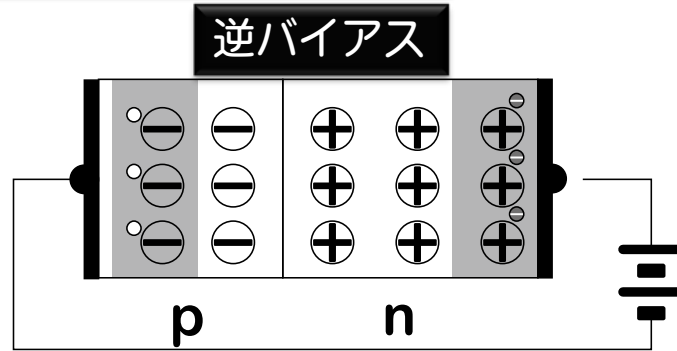
構造としては、この通り.

但し、ベース部分の厚みを薄くすることで、トランジスタ特有の特性が出る.

E : エミッタ, B : ベース, C : コレクタ

ダイオードとトランジスタ の機能を考慮した構造

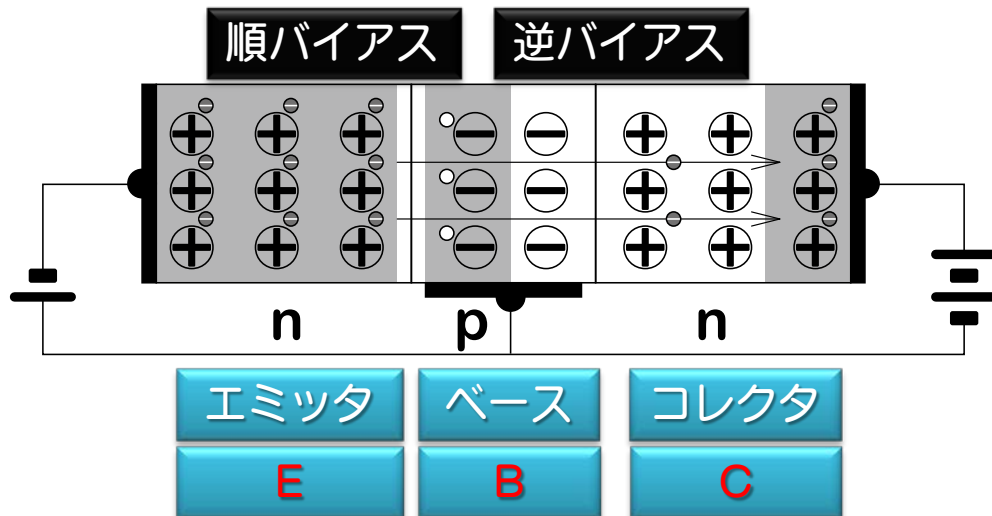
pn接合ダイオード



通常の逆バイアス状態では、空乏層が広がるのみ。

これとトランジスタはどう違うのか

npn接合トランジスタ



1. EBは順バイアス

E → Bに電子が拡散

2. Bは薄い

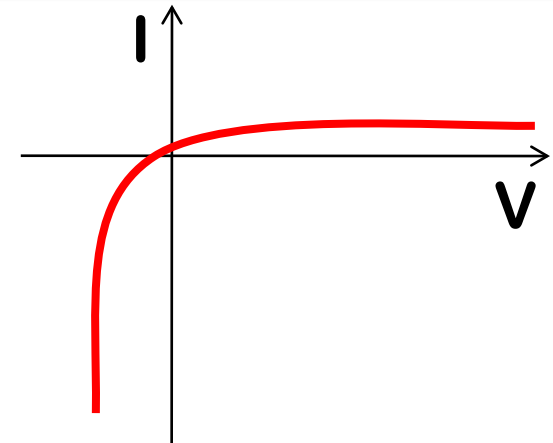
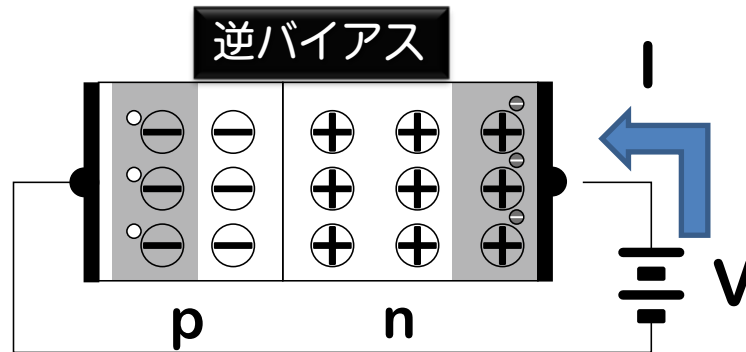
E → B電子はほとんど → C

3. BCは逆バイアス

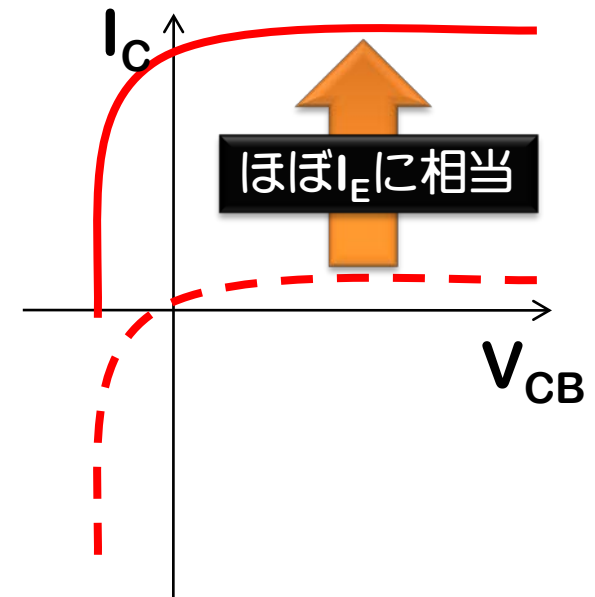
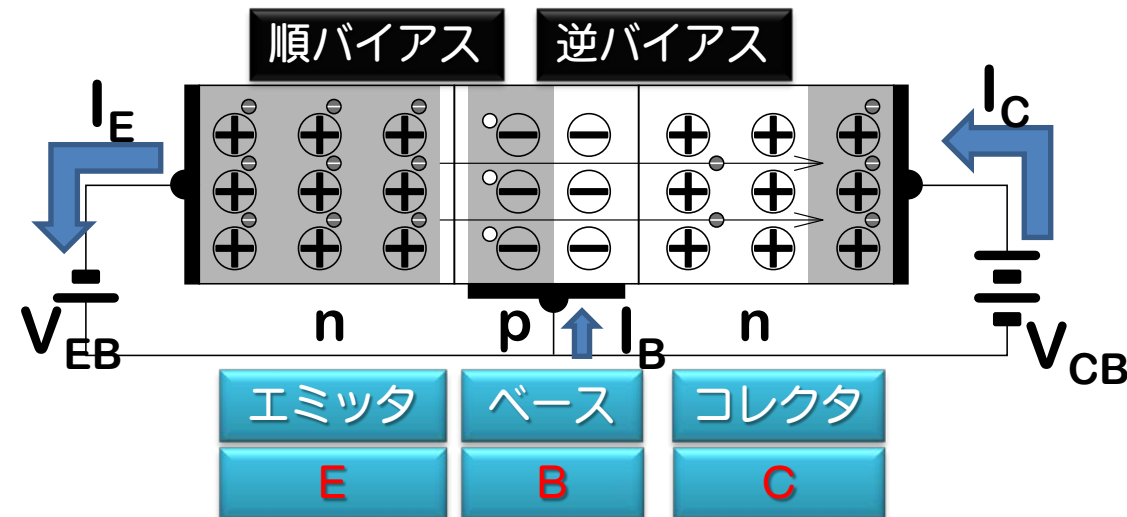
E → B ≒ B → Cの電流

トランジスタ各部の I V 特性

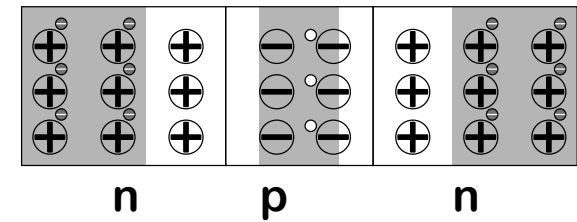
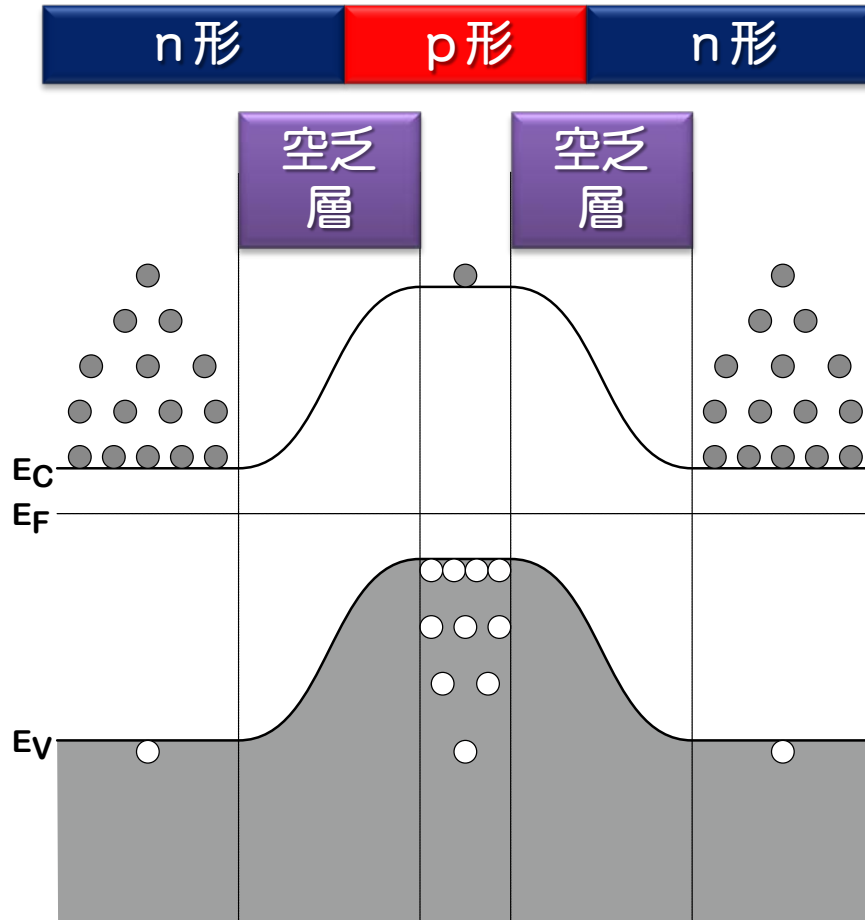
pn接合ダイオード



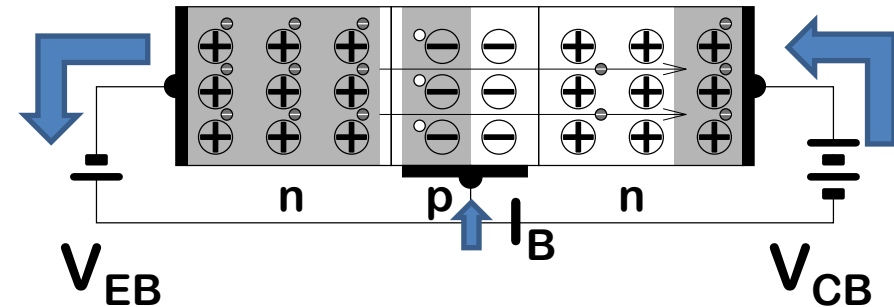
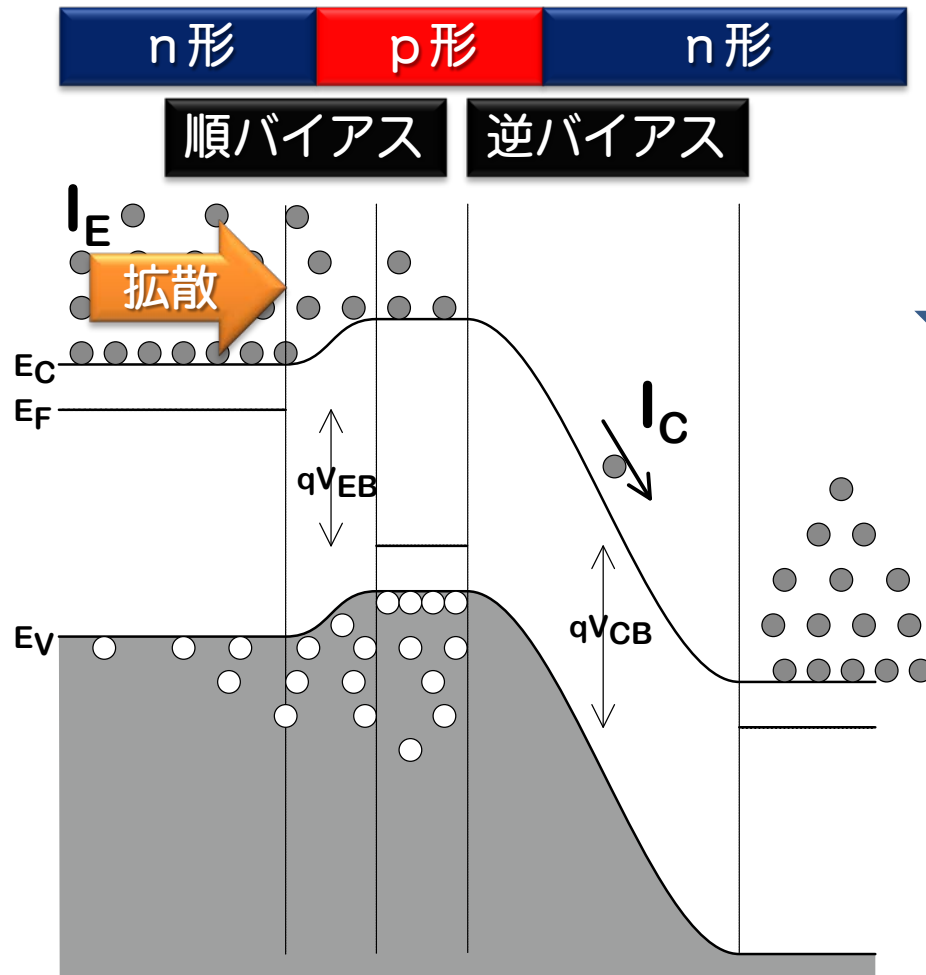
npn接合トランジスタ



無バイアス時のエネルギーバンド図



バイアス時のエネルギーバンド図



ベース接地増幅率 α

$$\alpha = I_C / I_E$$

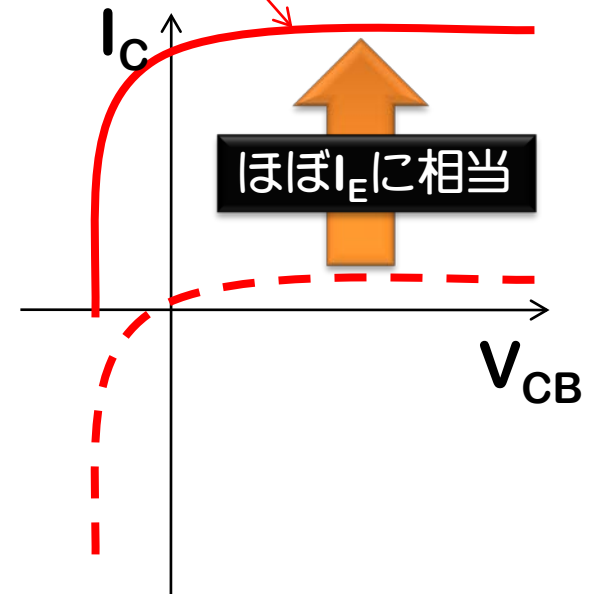
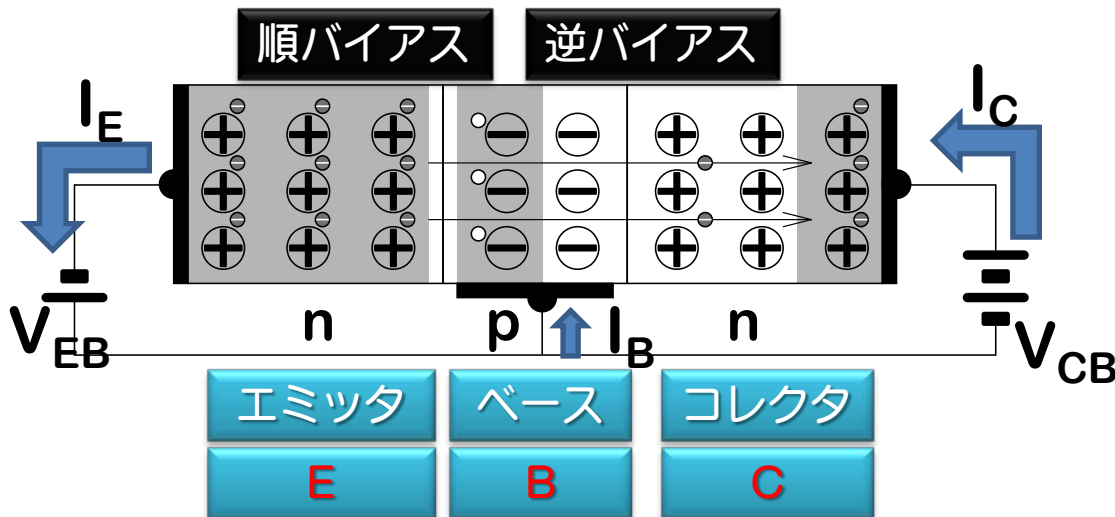
$$I_C = \alpha I_E$$

ほとんどの $I(E \rightarrow B)$ が C に流れ込む

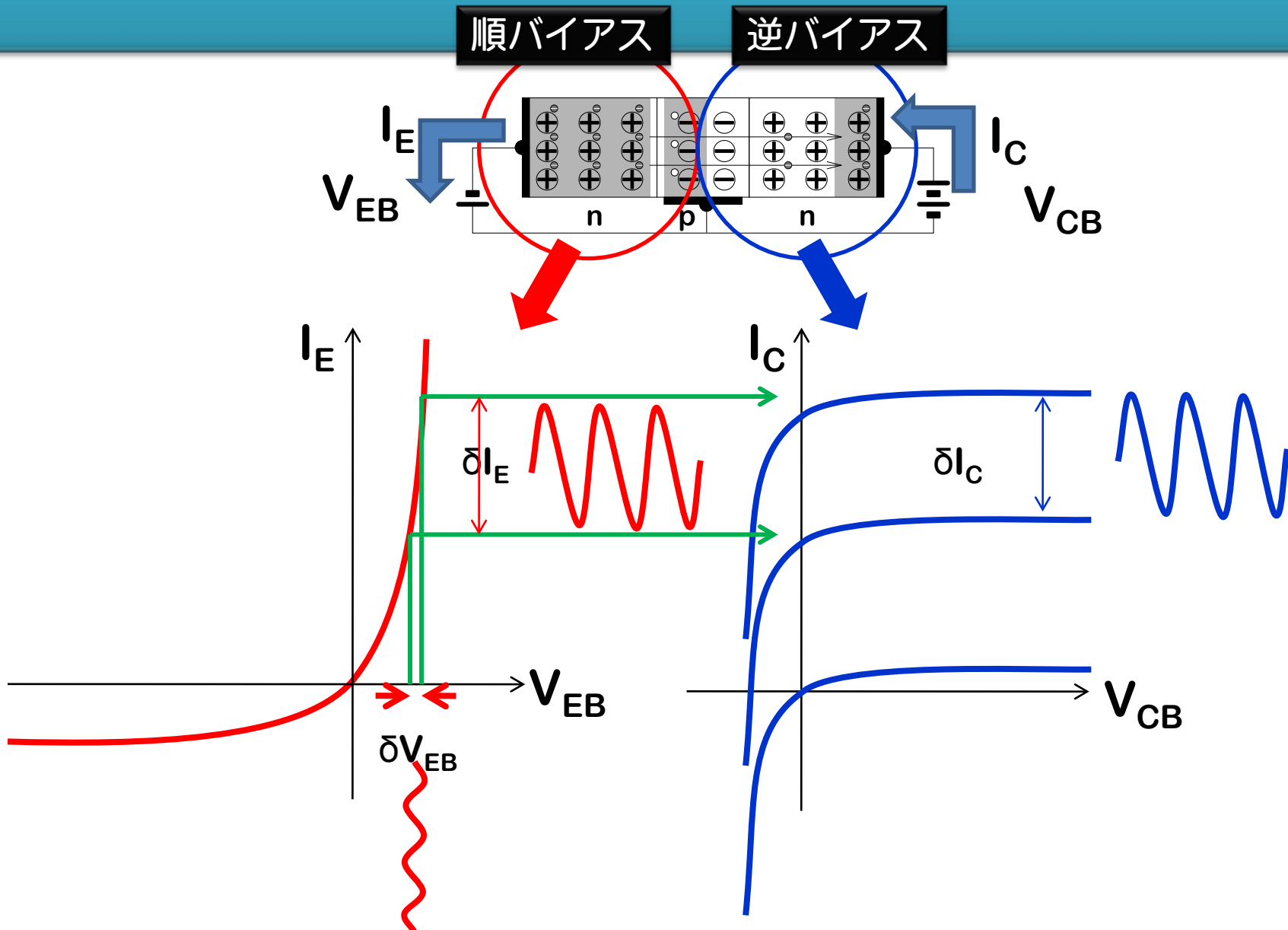


$$\alpha = 0.99 \dots$$

npn接合トランジスタ

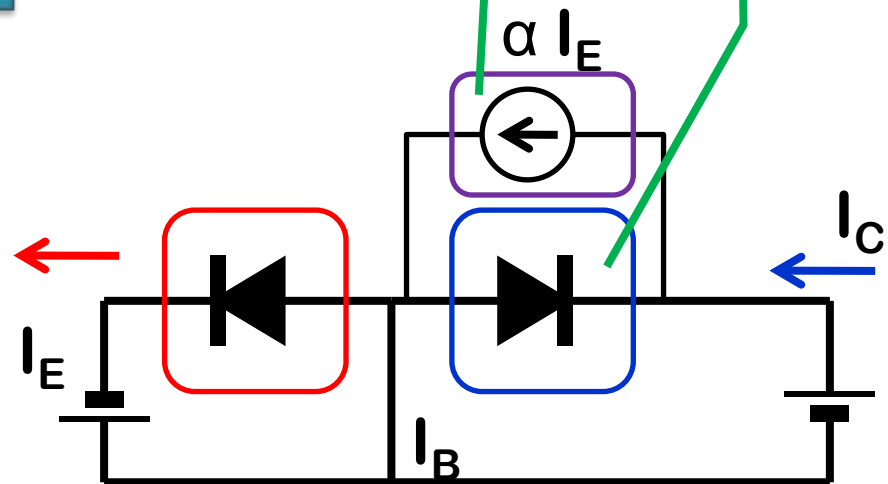
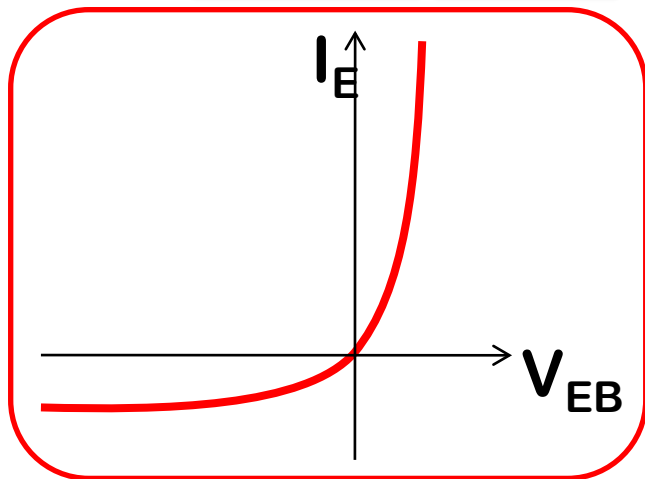
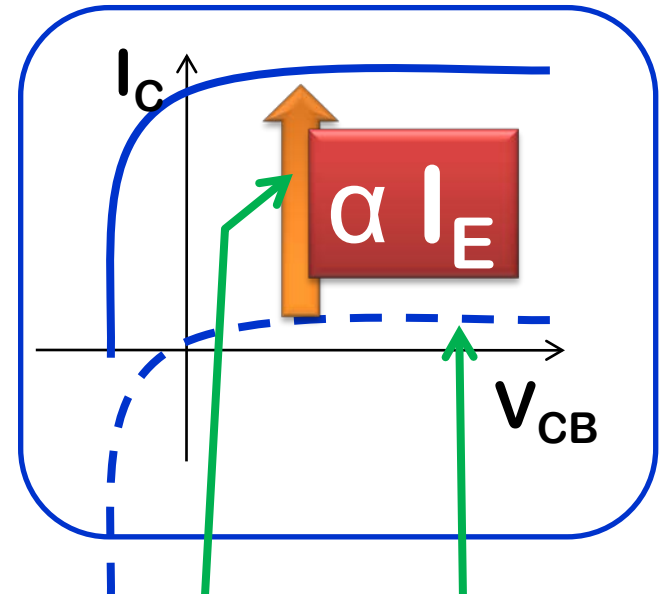
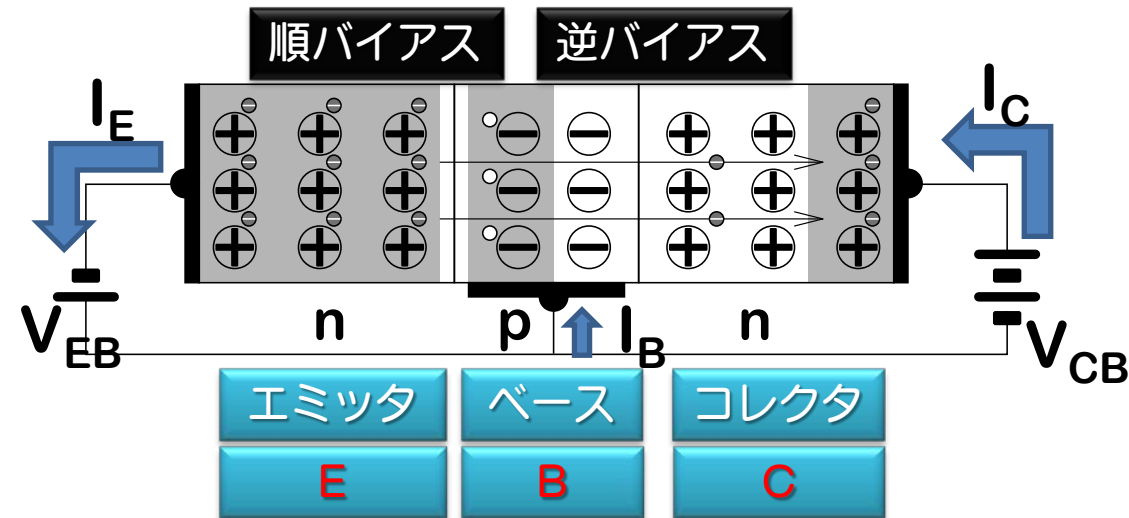


微小信号増幅の機構



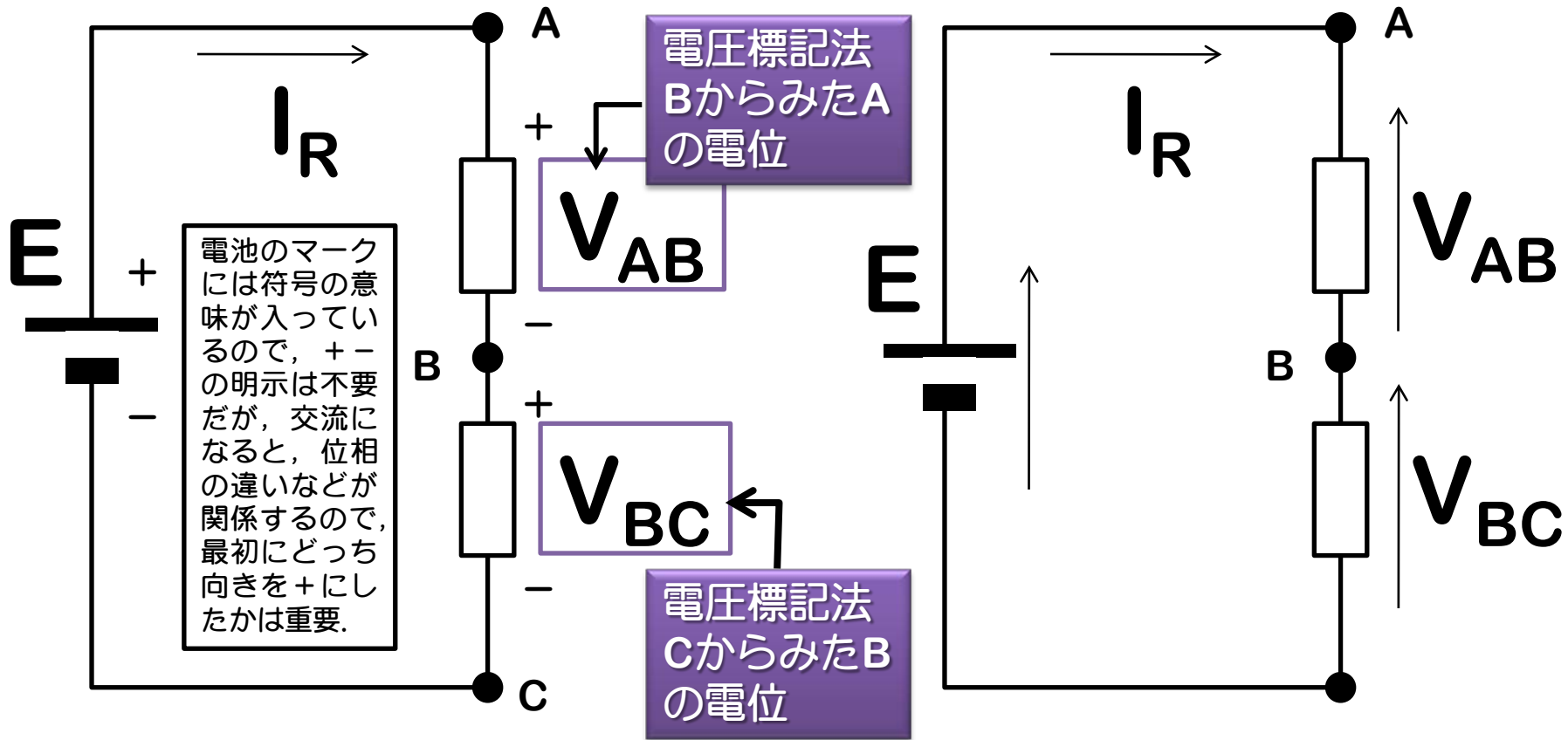
トランジスタの等価回路

npn接合トランジスタ



電圧の書き方と電流の書き方について

電流電圧の正負の符号の取り方を最初にちゃんと決めないと、先のスライドのように、符号がどっちか、と、こんがらがるので、決め方のルールの復習をしました。（2010-11-17追記）



二つの
流儀

電流は矢印の向きを正とする

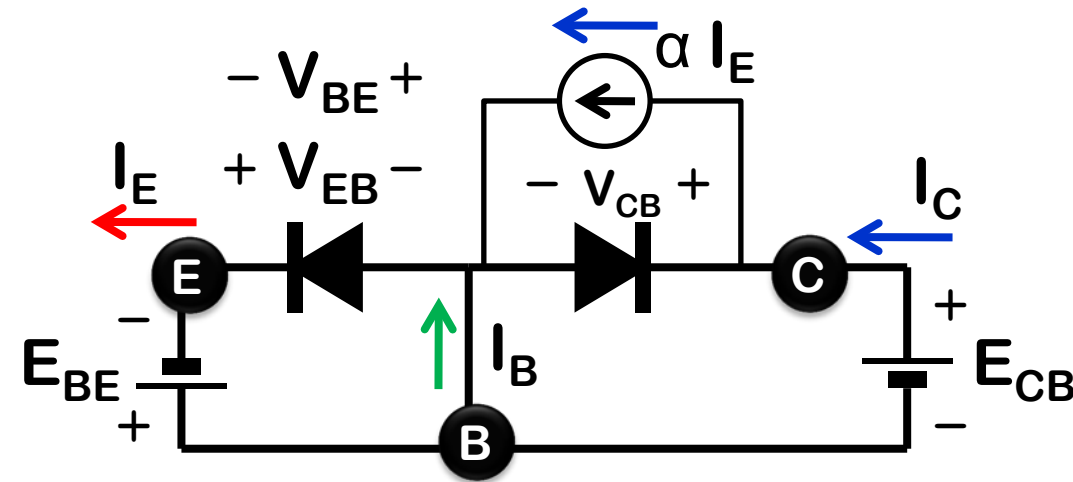
電圧は矢印の先を高電位とする

電流は矢印の向きを正とする

高電位と仮定した方に+印を
低電位と仮定した方に-印をつける

電流も電圧も同じ矢印で表すとこんがらがるので、私はこちらが好き

ベース接地の電流・電圧の関係 (改訂版)



電流の向きと電圧の向き
(どっちになったら正かを決めておく)

エミッタ電流の正の向き：赤い矢印の通り
コレクタ電流の正の向き：青い矢印の通り

V_{EB} : ベースから見たエミッタの電位

V_{BE} : エミッタから見たベースの電位
($V_{EB} = -V_{BE}$)

V_{CB} : ベースから見たコレクタの電位

$$I_E = I_{E0} \left(\exp\left(-\frac{qV_{EB}}{kT}\right) - 1 \right) \approx I_{E0} \exp\left(-\frac{qV_{EB}}{kT}\right) = I_{E0} \exp\left(\frac{qV_{BE}}{kT}\right)$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{C0} \left(\exp\left(-\frac{qV_{CB}}{kT}\right) - 1 \right) \approx \alpha I_E - I_{C0} \approx \alpha I_E$$

エミッタ接地の電流・電圧の関係、と エミッタ接地電流増幅率 β

$$I_E = I_C + I_B \quad I_C = \alpha I_E$$



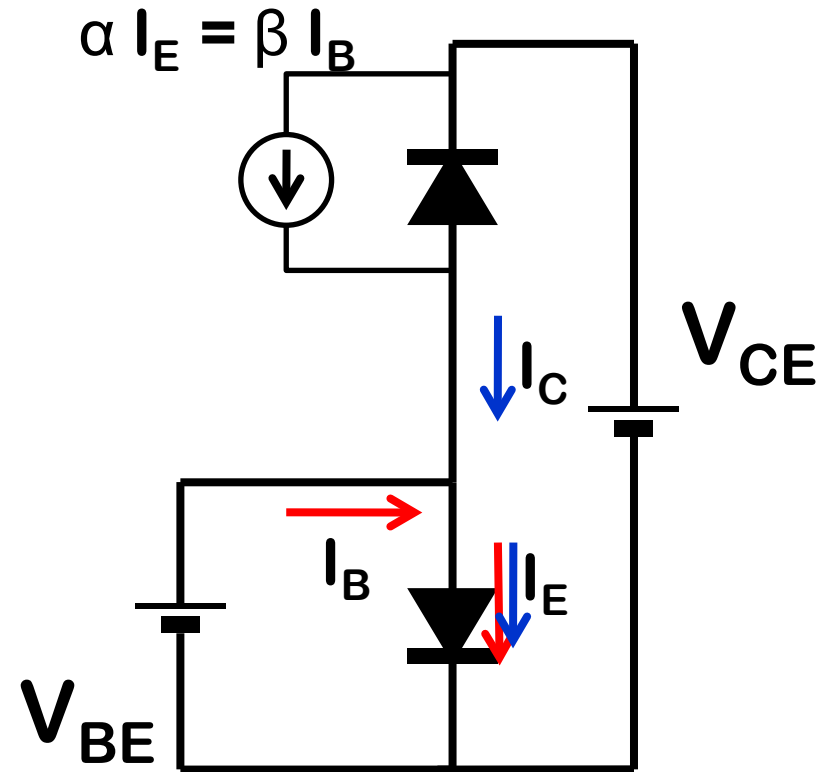
$$I_B = I_E - I_C = (1 - \alpha) I_E$$



$$\alpha I_E = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B \equiv \beta I_B$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \gg 1 \quad (\because \alpha \approx 1)$$

エミッタ接地電流増幅率



東芝トランジスタ シリコンNPNエピタキシャル形 (PCT方式)

2SC1815(L)

$$\beta \sim h_{FE} = 70 \sim 700$$

TOSHIBA

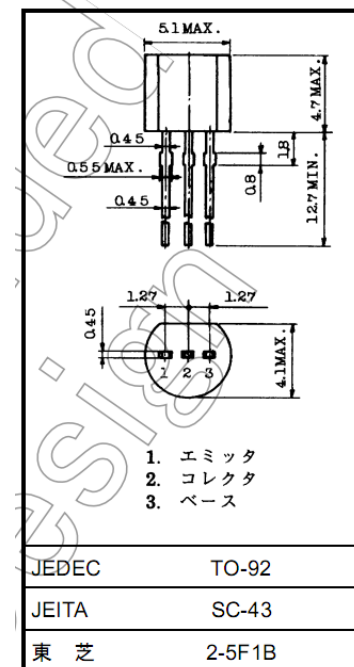
2SC1815(L)

電気的特性 (Ta = 25°C)

項 目	記 号	測 定 条 件	最小	標準	最大	単位
コ レ ク タ し ゃ 断 電 流	I _{CBO}	V _{CB} = 60 V, I _E = 0	—	—	0.1	μA
エ ミ ッ タ し ゃ 断 電 流	I _{EBO}	V _{EB} = 5 V, I _C = 0	—	—	0.1	μA
直 流 電 流 増 幅 率	h _{FE} (1)(注)	V _{CE} = 6 V, I _C = 2 mA	70	—	700	
	h _{FE} (2)	V _{CE} = 6 V, I _C = 150 mA	25	100	—	
コ レ ク タ ・ エ ミ ッ タ 間 飽 和 電 圧	V _{CE(sat)}	I _C = 100 mA, I _B = 10 mA	—	0.1	0.25	V
ベ ー ス ・ エ ミ ッ タ 間 飽 和 電 圧	V _{BE(sat)}	I _C = 100 mA, I _B = 10 mA	—	—	1.0	V
ト ラ ン ジ シ ョ ン 周 波 数	f _T	V _{CE} = 10 V, I _C = 1 mA	80	—	—	MHz
コ レ ク タ 出 力 容 量	C _{ob}	V _{CB} = 10 V, I _E = 0, f = 1 MHz	—	2.0	3.5	pF
ベ ー ス 拡 が り 抵 抗	r _{bb'}	V _{CE} = 10 V, I _E = -1 mA, f = 30 MHz	—	50	—	Ω
雑 音 指 数	NF (1)	V _{CE} = 6 V, I _C = 0.1 mA, f = 100 Hz, R _G = 10 kΩ	—	0.5	6	dB
	NF (2)	V _{CE} = 6 V, I _C = 0.1 mA, f = 1 kHz, R _G = 10 kΩ	—	0.2	3	

注: h_{FE}(1) 分類 O: 70~140, Y: 120~240, GR: 200~400, BL: 350~700

単位: mm



質量: 0.21 g (標準)

http://www.infonet.co.jp/ueyama/ip/

Webで学ぶ 情報処理概論 - Windows Internet Explorer

http://www.infonet.co.jp/ueyama/ip/

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

★ お気に入り Webで学ぶ 情報処理概論

Information Processing Webで学ぶ 情報処理概論

1. [まえがき](#)
2. [講義概要](#)
3. [Webで学ぶ 情報処理概論 目次](#) テキスト「Webで学ぶ 情報処理概論」と講義資料の一部です。Java アプレットなども含まれています。
4. [用語解説](#) IT 用語の解説のページです。
5. [参考文献とリンク](#)
6. [なかがき・謝辞](#)
7. [Class Room](#) 受講生専用のページ。学籍番号とパスワードが必要です。

8. [講義資料](#) 従来の「講義資料」のメニューページです。内容が「目次」に移行完了次第、削除する予定です。
9. [情報技術の散歩道](#) おもちゃの分解など、情報技術の散歩道にご案内（「情報余話」改題）。
10. [情報夜話](#) 情報千一夜物語（情報処理に関する小話集）。金谷信之先生の作品です。

[戻る](#)

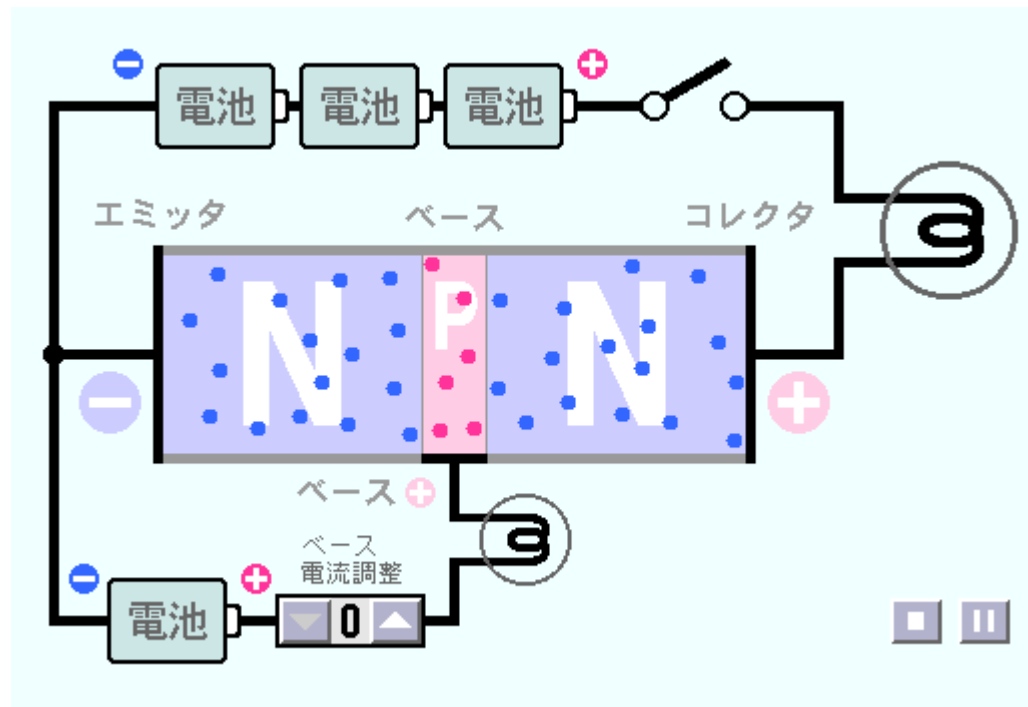
times since 2000.09.01
Thank you.

--> update: 2010.07.15 [更新履歴](#)

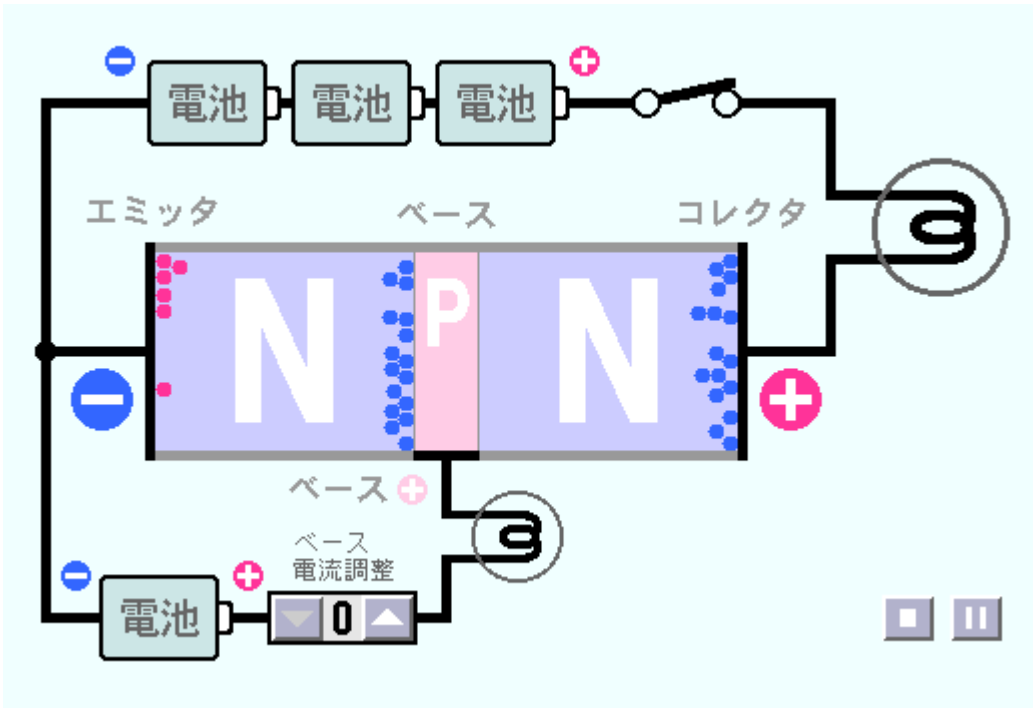
1998.08.31 © ueyama@infonet.co.jp

ページが表示されました インターネット 100%

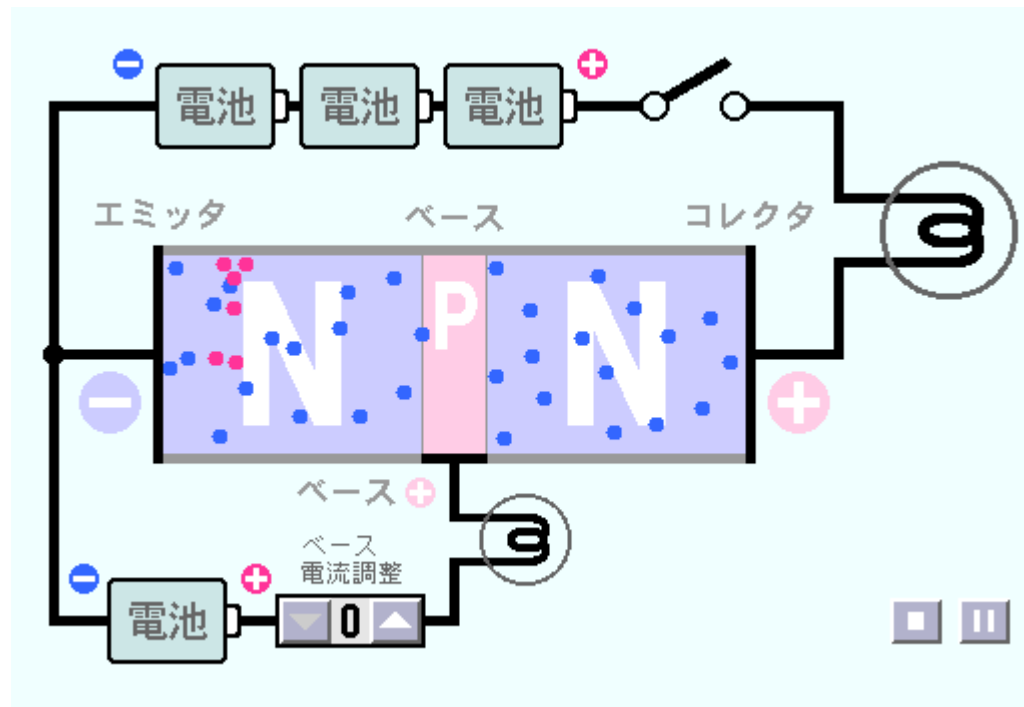
ベース電流無しで、 エミッタ・コレクタ間に電圧印加



ベース電流有りで、
エミッタ・コレクタ間に電圧印加



エミッタ・コレクタ間に電圧印加せず、 ベース電流のみ



参考にしたWeb sites

<http://www.infonet.co.jp/ueyama/ip/>

<http://okawa-denshi.jp/techdoc/>