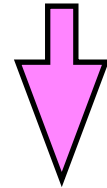


電気電子回路入門

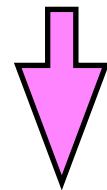
2012年1月18日

前回のポイント

- ・ 直流の電力：電圧と電流の積



- ・ 交流の電力について
 - ・ 電圧と電流の積の時間平均
 - ・ 交流機器は負荷によって力率が変動する



- ・ 電力 = 皮相電力 × 力率
- ・ 電力のベクトル表示

8章 PN接合ダイオード

今回のポイント

- PN接合ダイオード
 - PN接合と整流作用
 - 半導体ダイオードの理論式
 - 動作特性図 V_F の違い
 - 図式解法
 - 整流回路

8章 PN接合ダイオード

- PN接合ダイオードは半導体素子の基礎
(増幅素子であるトランジスタ、FETへの足がかり)
- 非線形素子＝能動素子 $\leftrightarrow$ 受動素子
- 整流作用を持つ

8.1 PN接合ダイオード

- 半導体が材料 (Ge, Si, GaAs, SiC…)
- バンドギャップの大きさ、キャリア移動速度により用途に合わせて用いられる
- 整流作用がある (ように作られる)
- 不純物の種類によりP型、N型の作り分けができる
- P型は3価の元素 (Al, In, Ga等) をドーブ
- N型は5価の元素 (As, Sb, P等) をドーブ

2-2 表 主な半導体の常温における特性

半導体	禁制帯幅 [eV]	移動度 [$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]		有効質量 m^*/m_0		比誘電率 ϵ/ϵ_0
		電 子	正 孔	電 子	正 孔	
Ge	0.67	3900	1900	1.6 0.082	0.3 0.04	16
Si	1.12	1500	600	0.97 0.19	0.5 0.16	11.8
GaAs	1.43	8500	400	0.068	0.5	10.9
GaP	2.24	110	75	0.5	0.5	10
InSb	0.16	78000	750	0.013	0.6	17

例えばSi中の電子の移動速度は
10V/cmの電界をかけたとすると

$$v_n = 1500 [\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}] \times 10 [\text{Vcm}^{-1}] = 15000 [\text{cm} / \text{s}]$$

$$= 150 [\text{m} / \text{s}] \quad \text{むっちゃ遅い}$$

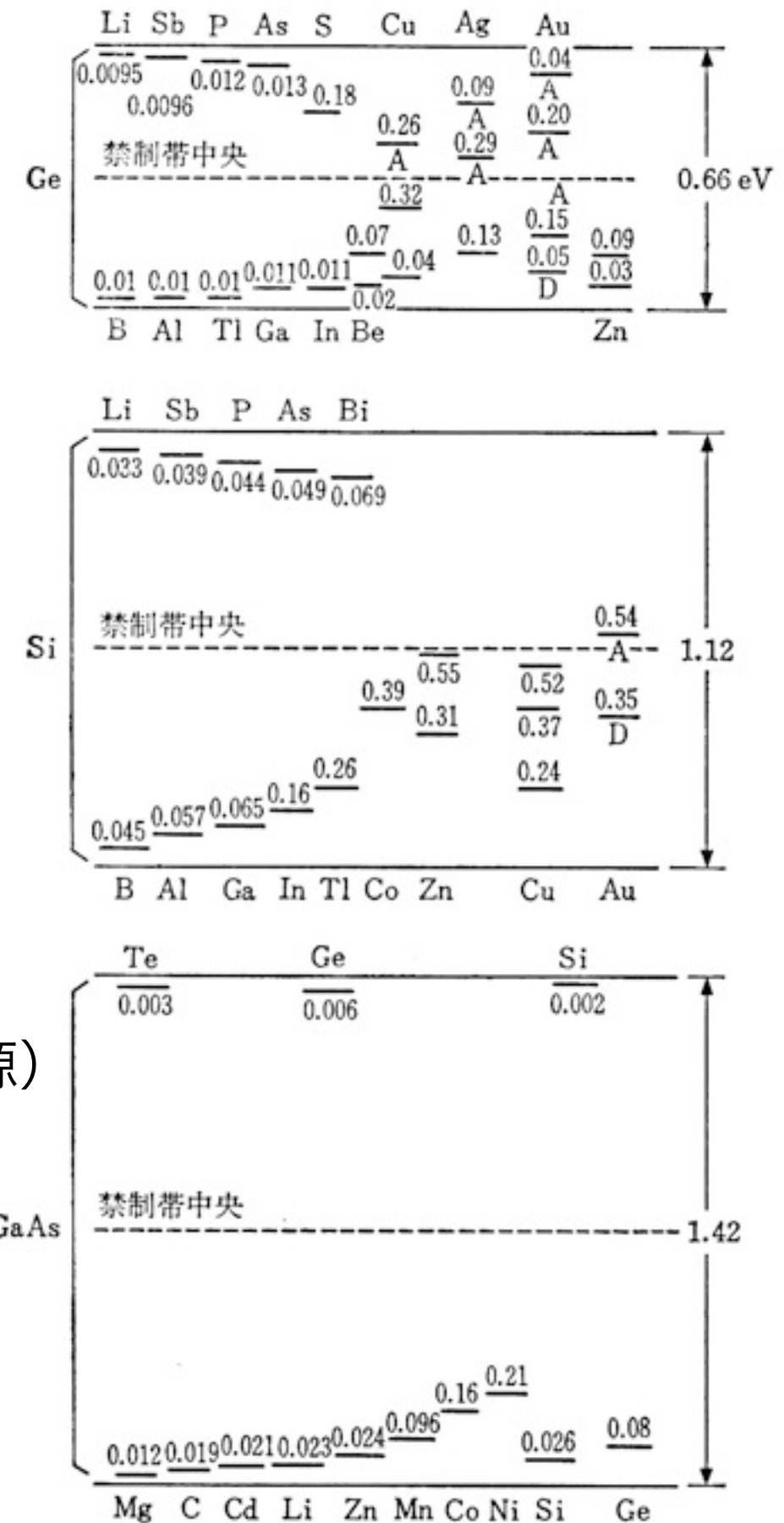
10V/ μm だとすると (0.3 μm ルールで3Vの電源)

$$v_n = 1500 [\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}] \times 10^5 [\text{V} / \text{cm}] = 1.5 \times 10^8 [\text{cm} / \text{s}]$$

$$= 1.5 \times 10^3 [\text{km} / \text{s}] \ll 3 \times 10^5 [\text{km} / \text{s}]$$

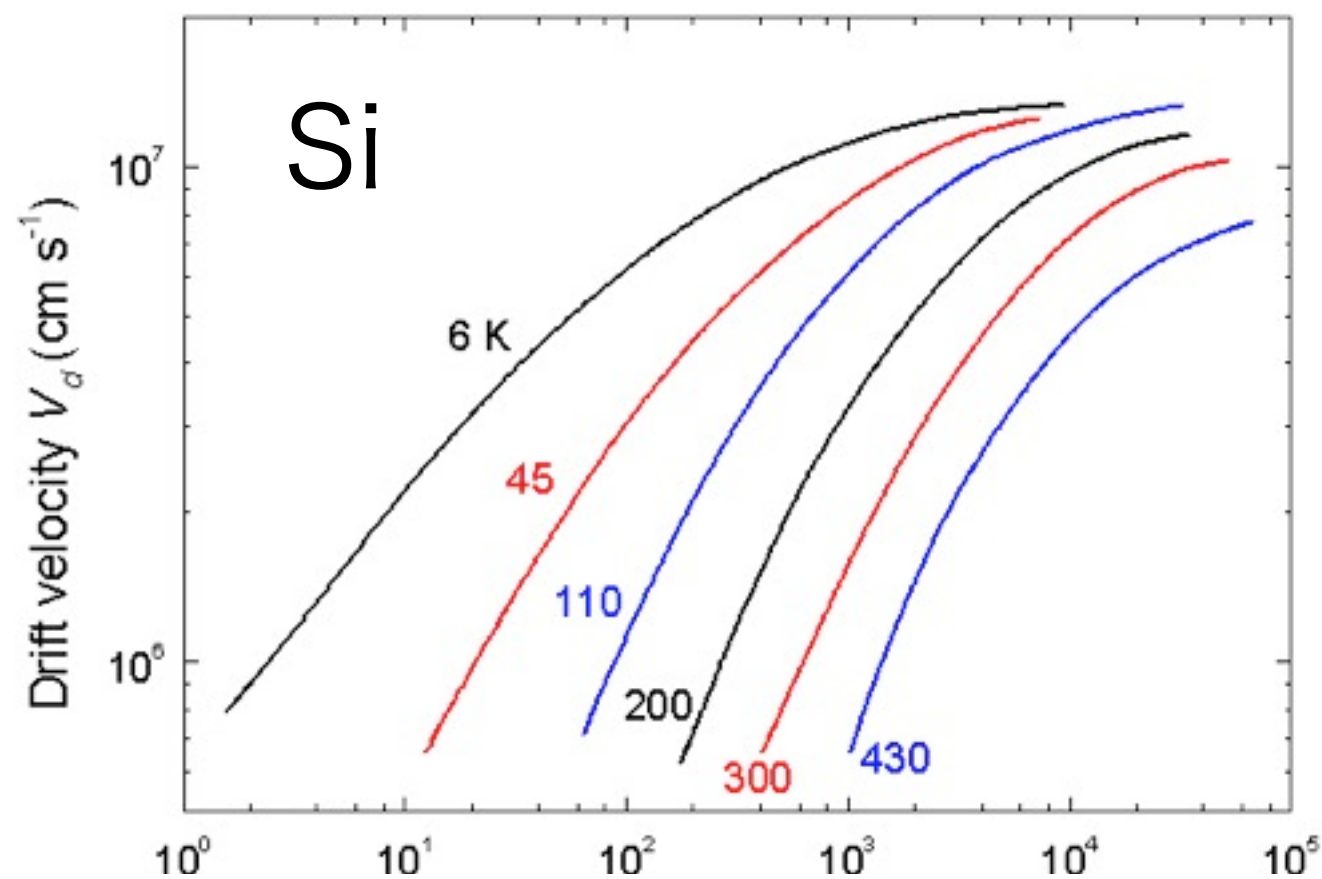
せいぜい光速の1/200→小型化

ただし空気は 10^4V/cm で放電

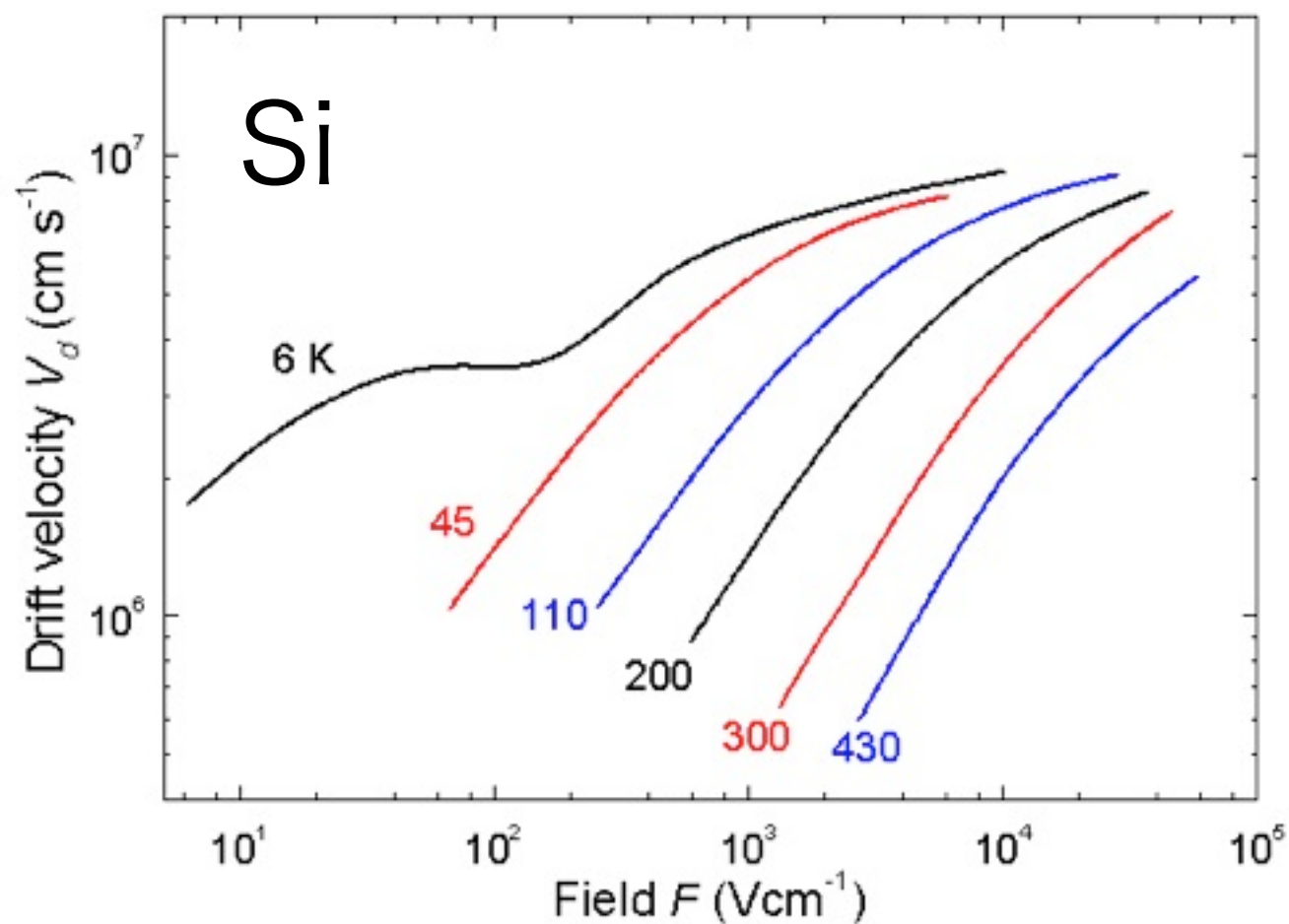


2-9 図 Ge, Si, GaAs 中の各種の不純物準位

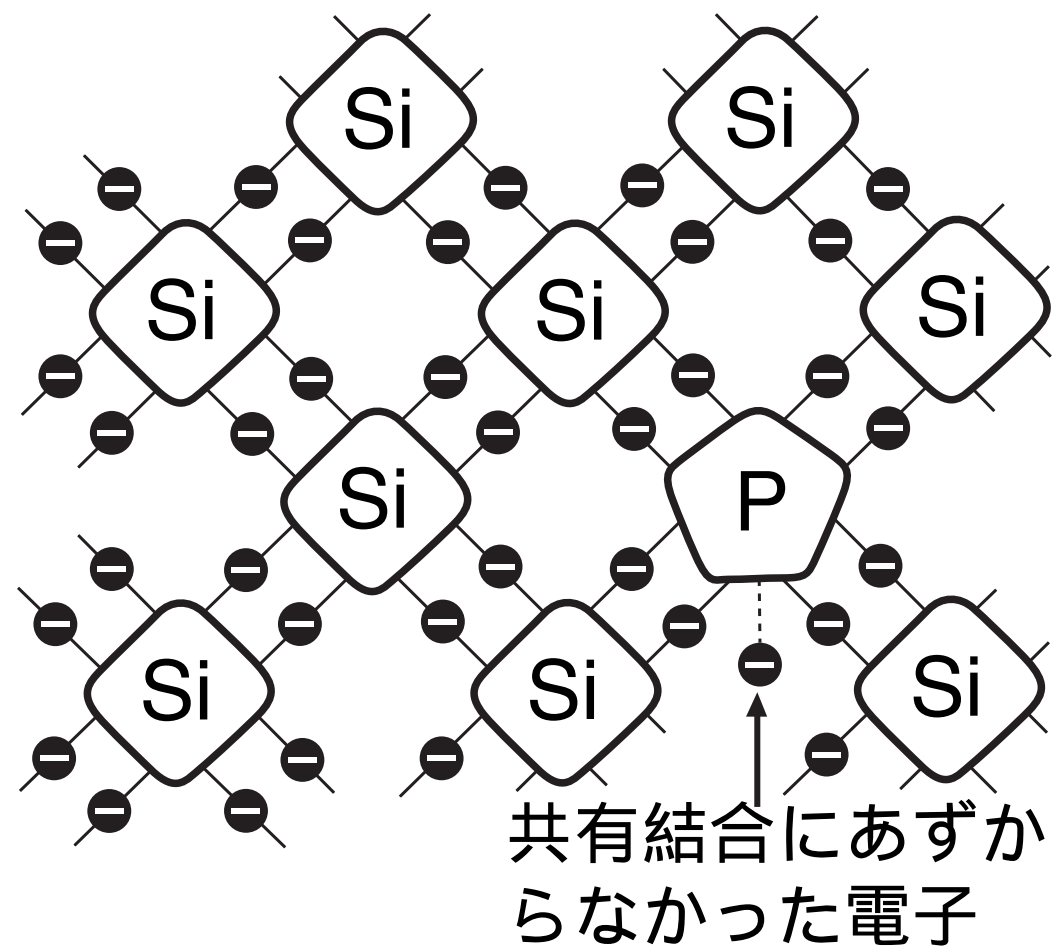
電子の移動速度



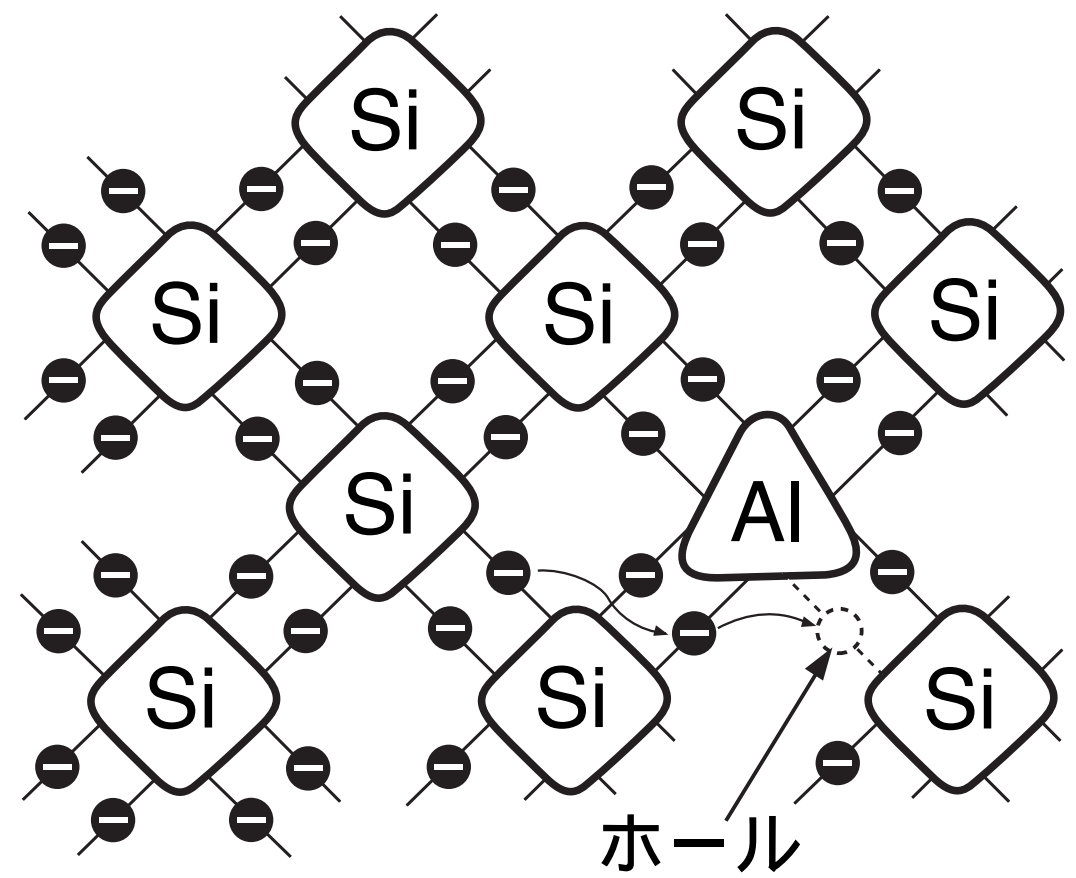
ホールの移動速度



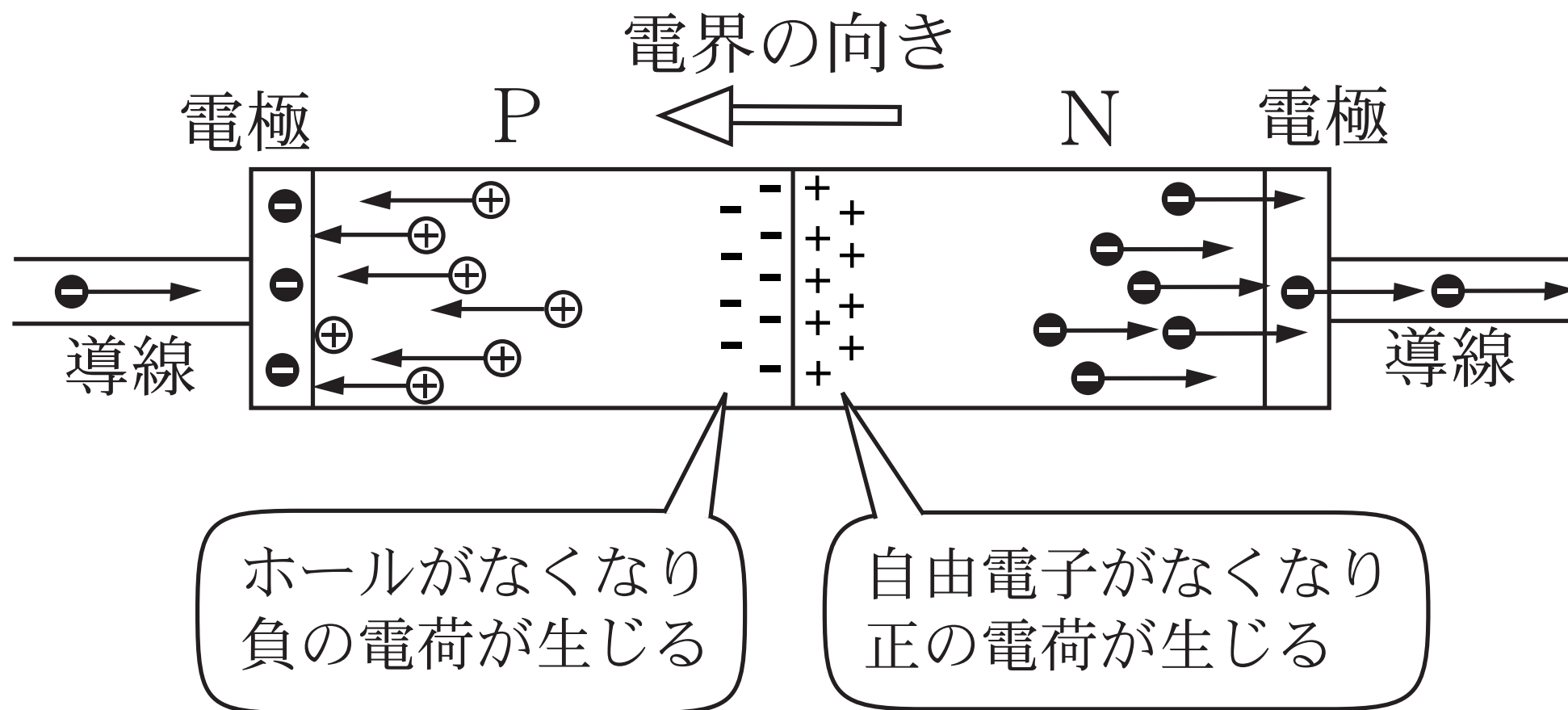
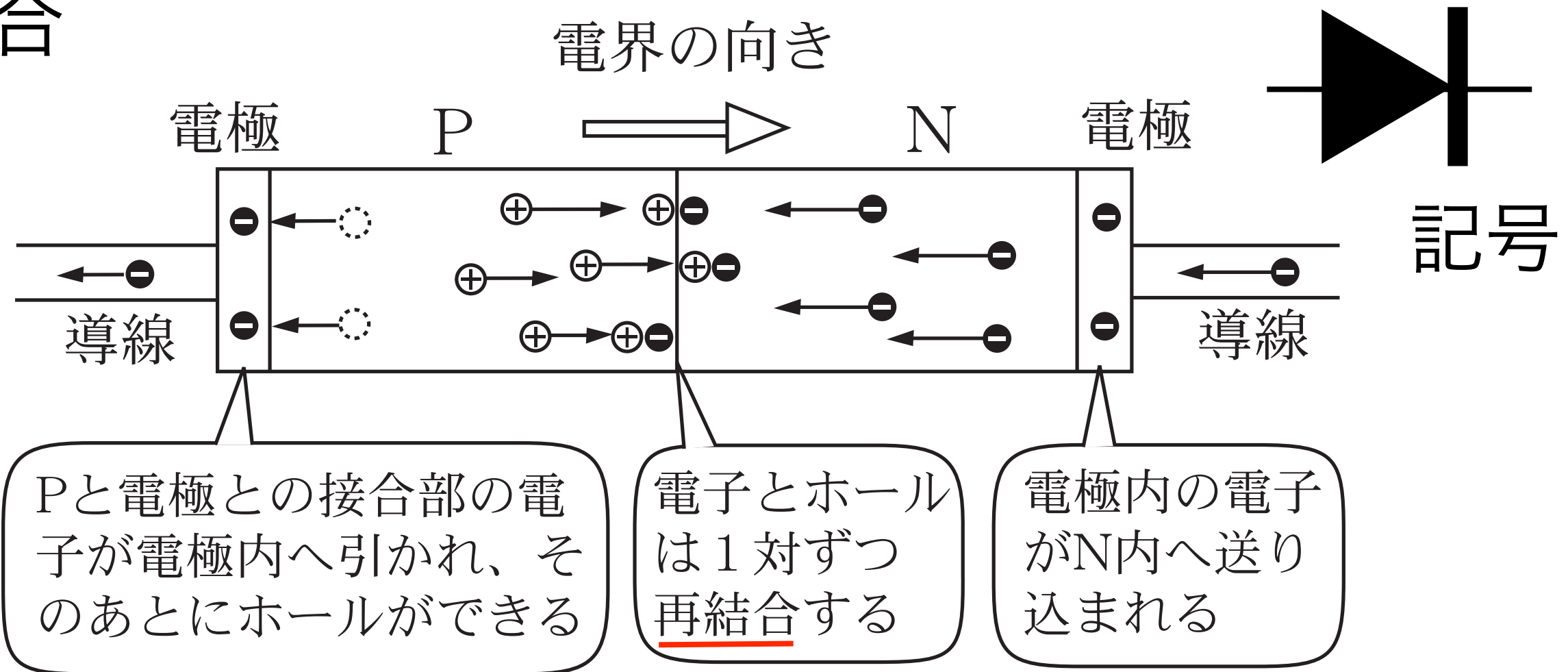
N型半導体

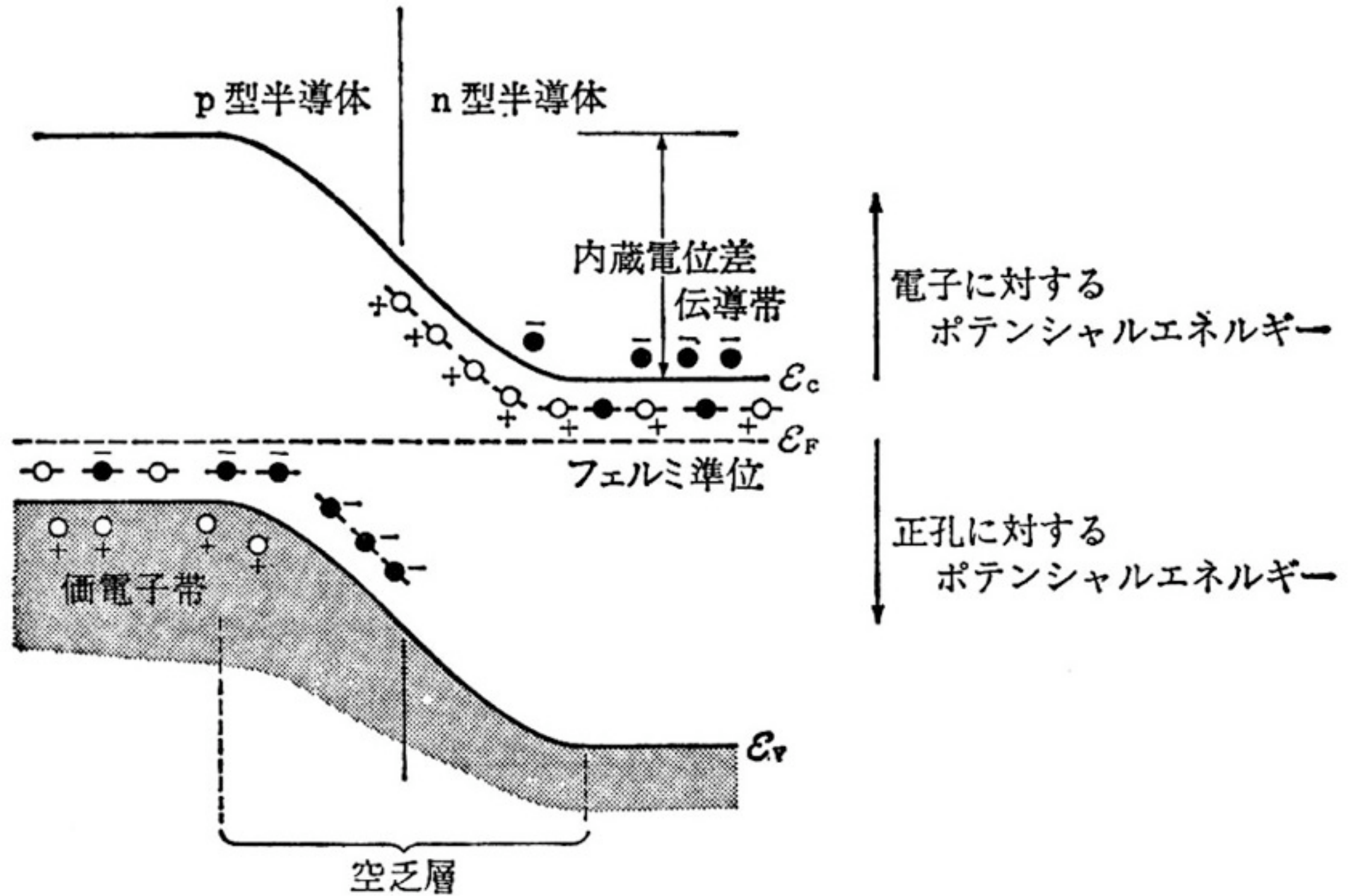


P型半導体



PN接合





2-18 図 pn 接合のエネルギー準位図

エレクトロニクスの基礎（新版）霜田光一著から

- PN接合ダイオードの V_D - I_D 特性の理論式

$$I_D = I_S \left[\exp\left(\frac{eV_D}{kT}\right) - 1 \right]$$

k :ボルツマン定数、

e :電子の電荷、 T :絶対温度

常温($T=300\text{K}$)では

$$V_T = \frac{kT}{e} = 26 [\text{mV}]$$

したがって

$$I_D = I_S \left[\exp\left(\frac{V_D}{0.026}\right) - 1 \right]$$

と、近似できる

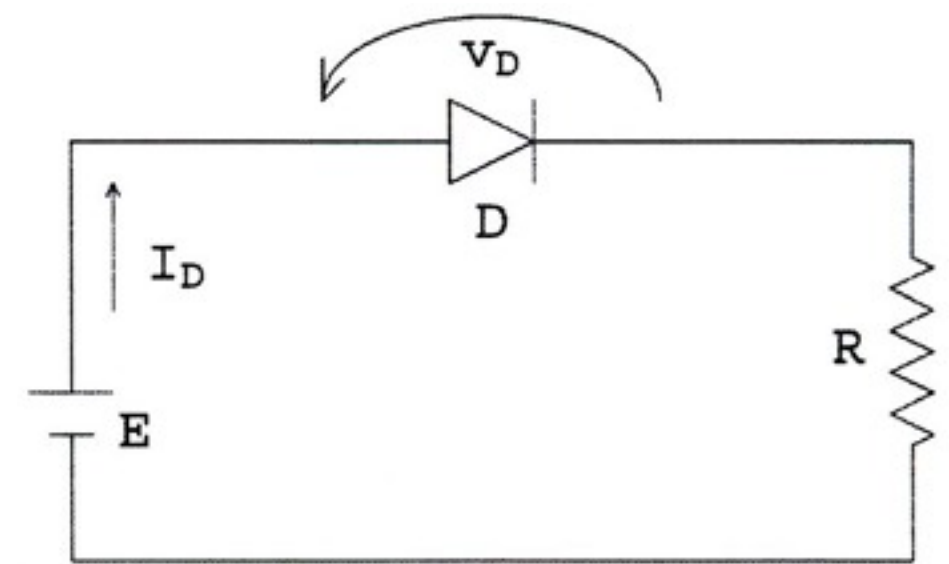
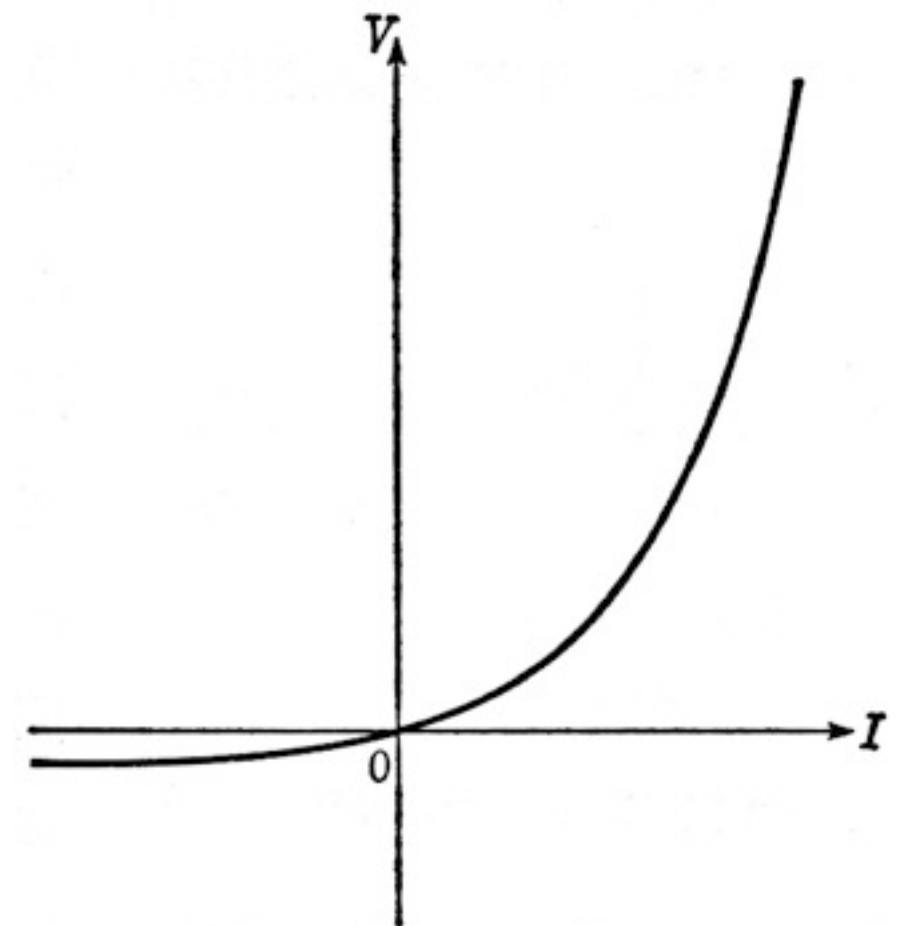


Fig. 8.2 ダイオード回路



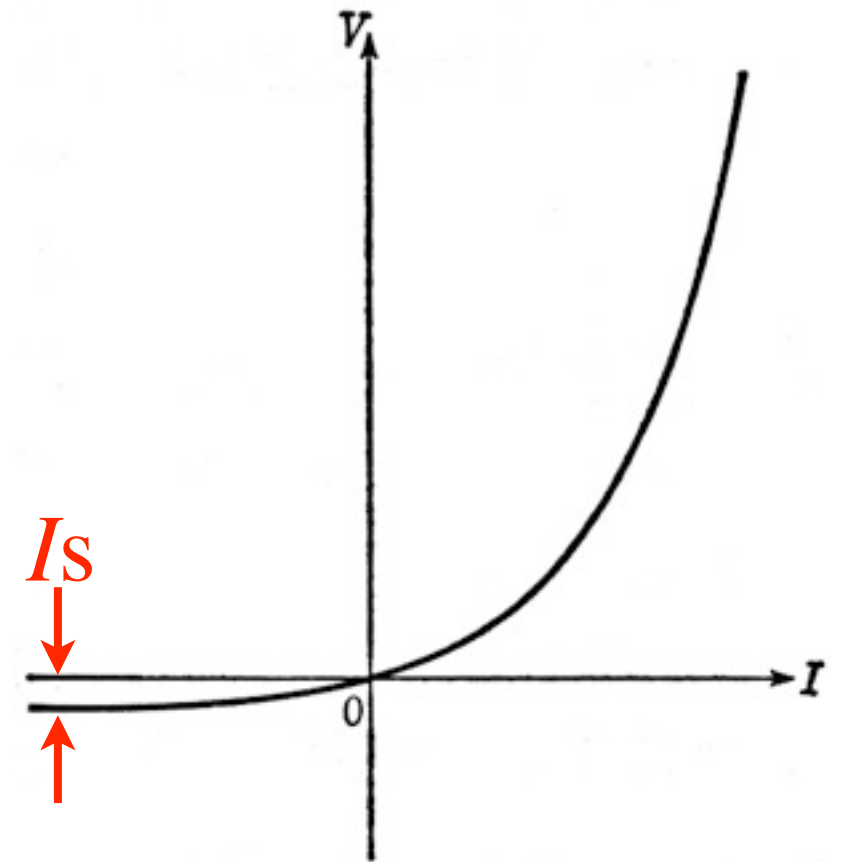
2-21 図 pn 接合の理論的 V - I 特性

V_D が逆方向電圧ならば

$$\varepsilon^{\frac{V_D}{0.026}} \ll 1 \left(\because \varepsilon^{\frac{-1}{0.026}} \cong 2 \times 10^{-17} \right)$$

したがって、逆方向電流 I_D はほぼ

$$I_D = -I_S$$



2-21 図 pn 接合の理論的 $V-I$ 特性

となる。 I_S は逆方向飽和電流(saturation current)

小信号用シリコンダイオードでは

$$I_S \approx 10^{-1} \sim 10^{-4} [\mu A]$$

程度できわめて小さな値

V_D が順方向電圧ならば

$$\varepsilon^{\frac{V_D}{0.026}} > 1$$

$$\left(\because \varepsilon^{\frac{0.1}{0.026}} \cong 47 \right)$$

となり

$$I_D \cong I_S \varepsilon^{\frac{V_D}{0.026}}$$

(テキストは V_T と書いているが未定義。多分ミスタイプ)

ただし、上式が成り立つのは I_D が数百nA～数百
 μA 程度の範囲

V-I特性図

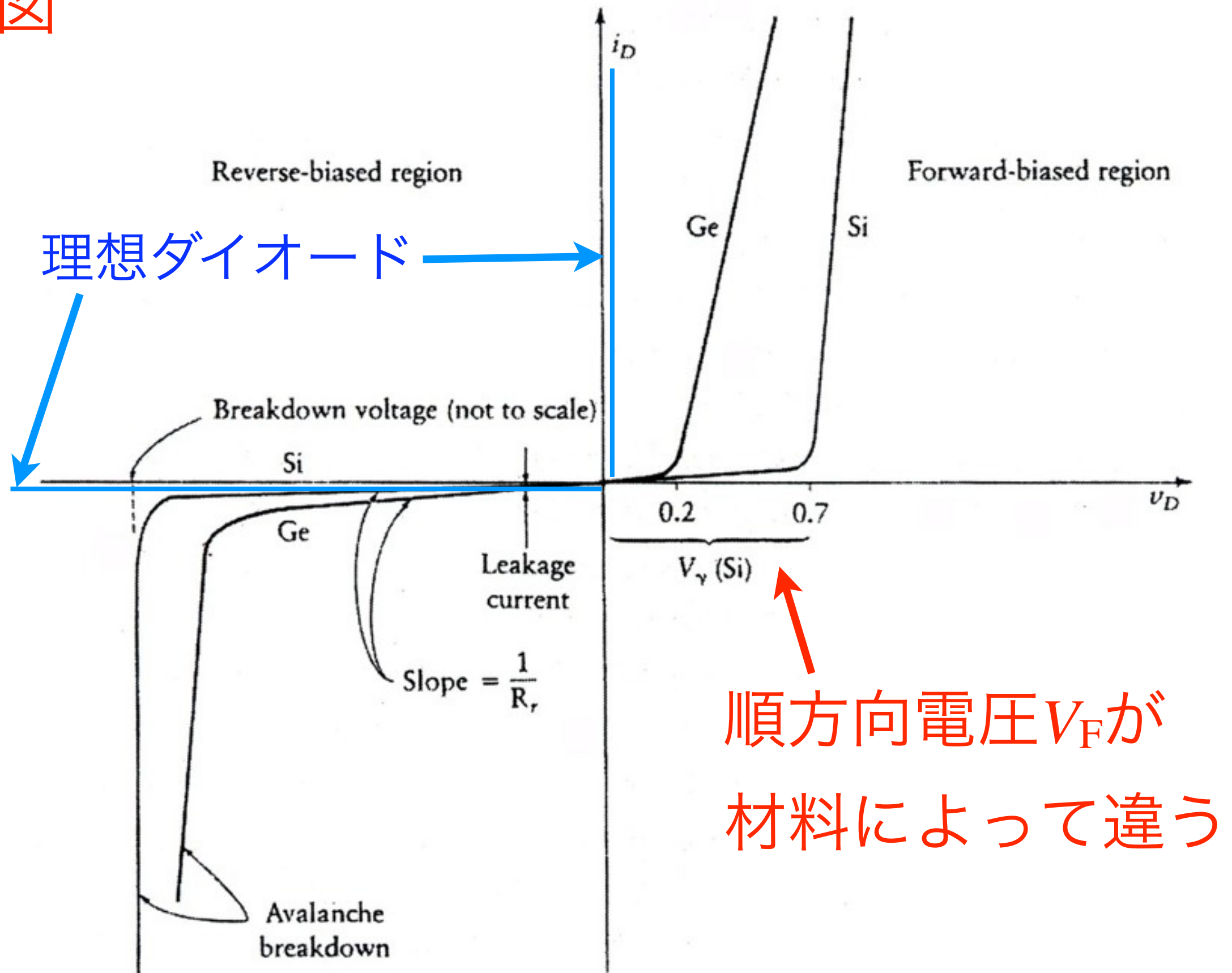
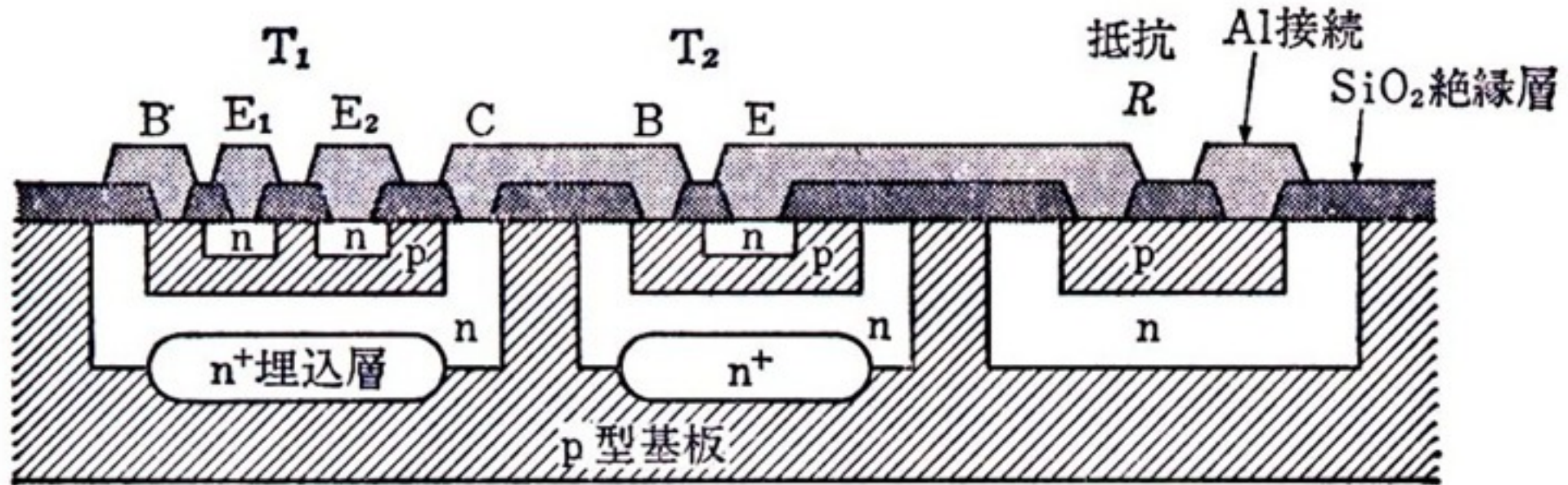


Fig.8.3 PN 接合ダイオードの V-I 特性

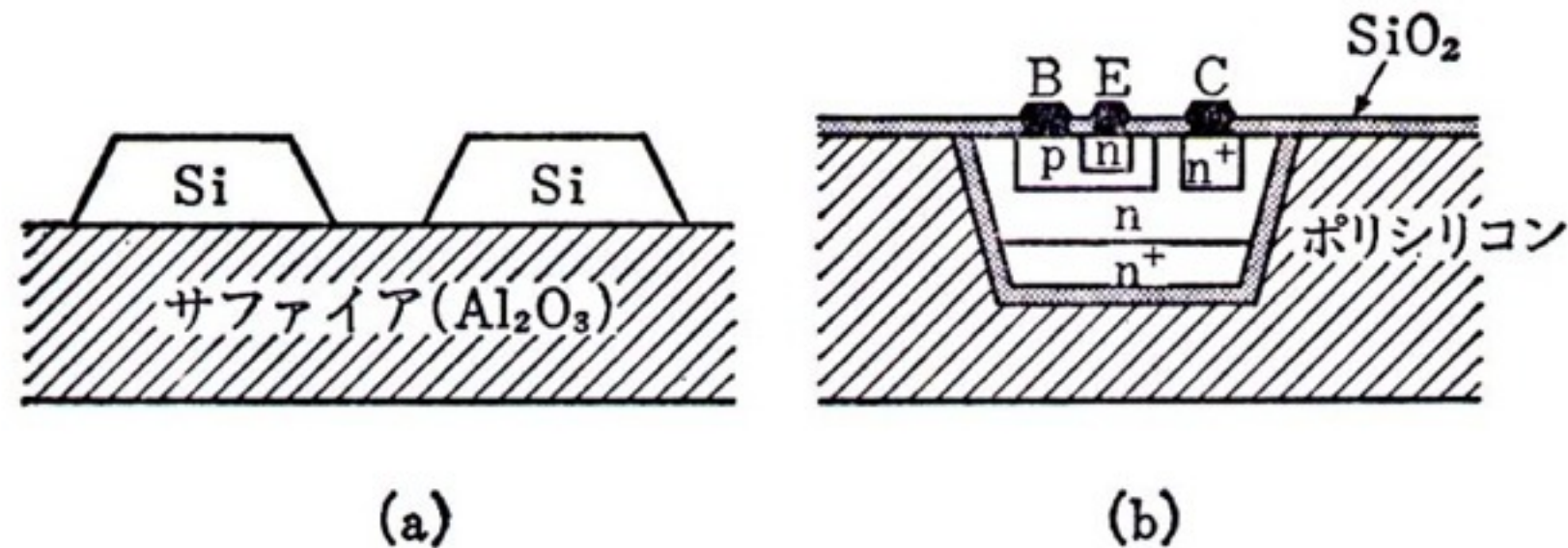
ダイオードの用途

- 整流作用
- 検波回路
- 定電圧回路（ツェナーD）
- リミッタ回路
- 電子チューナー（バリキャップ）
- アンテナの切替（スイッチング、フェーズドアラレー：PIN D）
- LED、レーザーダイオード
- 受光ダイオード（フォトD、太陽電池）
- 周波数変換（バリキャップ、バラクタ）
- 発振、マイクロ波発生（エサキD、ガンD等）
- IC：デバイス間の分離
- 温度センサー、放射線検出

参考 IC：デバイス間の分離



4-24 図 4-23 図の回路を IC 化した構造



4-25 図 素子分離方式. (a) は絶縁基板を用いる方法. サファイアの上に Si 素子をおく構造を SOS (silicon on sapphire) という. (b) は SiO_2 の層を挿入して絶縁する方法.

8.2 ダイオード回路の動作

ダイオードに流れる電流は、線形ではないので、
図式解法より求める。

図は電圧－電流特性 (V_D - I_D 特性)

キルヒホッフの法則は非線形でも成り立つので

$$V_D \equiv f(I_D) = E - RI_D$$

x 切片は $I_D=0$ だから

$$V_D = E$$

y 切片は $V_D=0$ だから

$$I_D = E/R$$

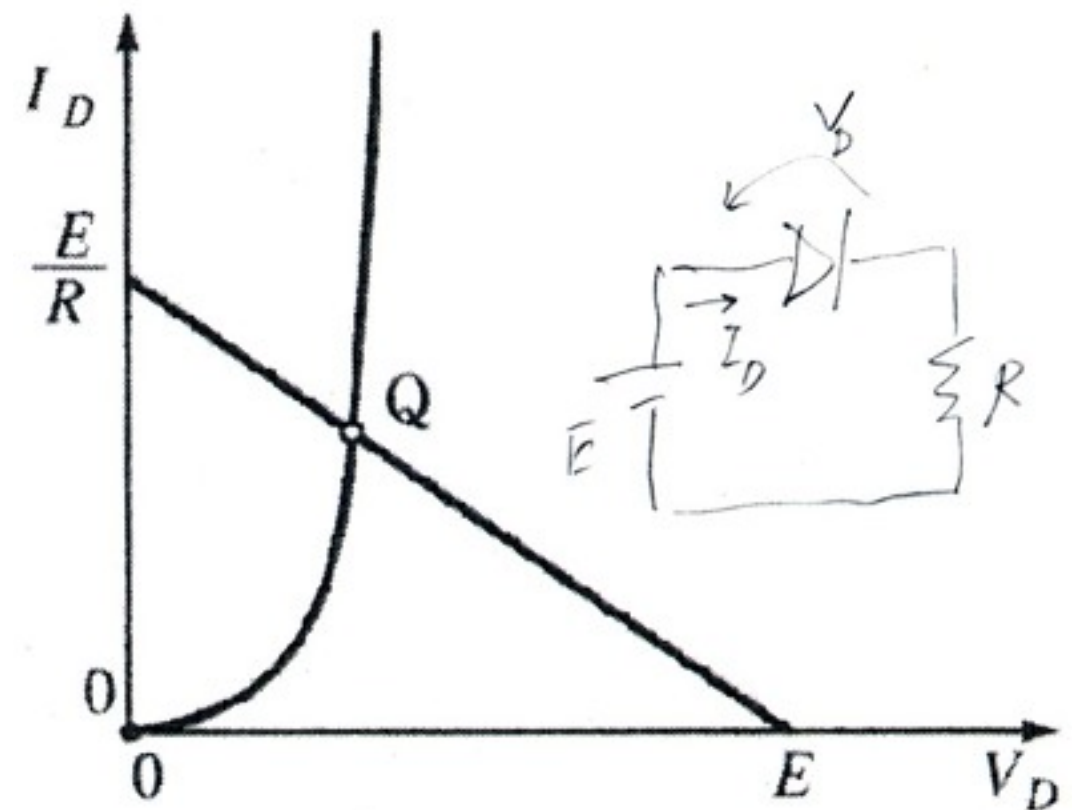


Fig.8.4 図式解法

8.3 半波および全波整流回路

- 半波整流回路

- コンデンサが無いと平均電圧は低い

- 電圧変動が大きい（大きいコンデンサが必要：放電時定数 $=R \times C[s]$ ）

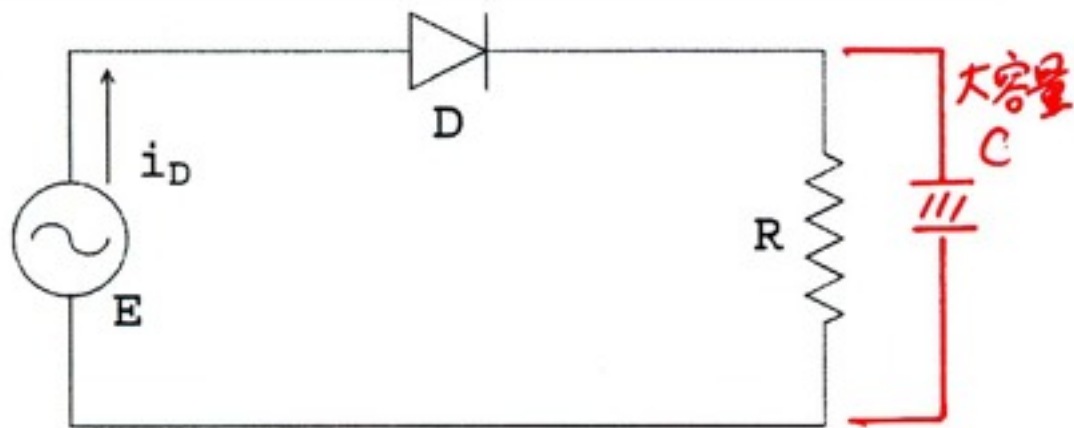


Fig. 8.5(a)

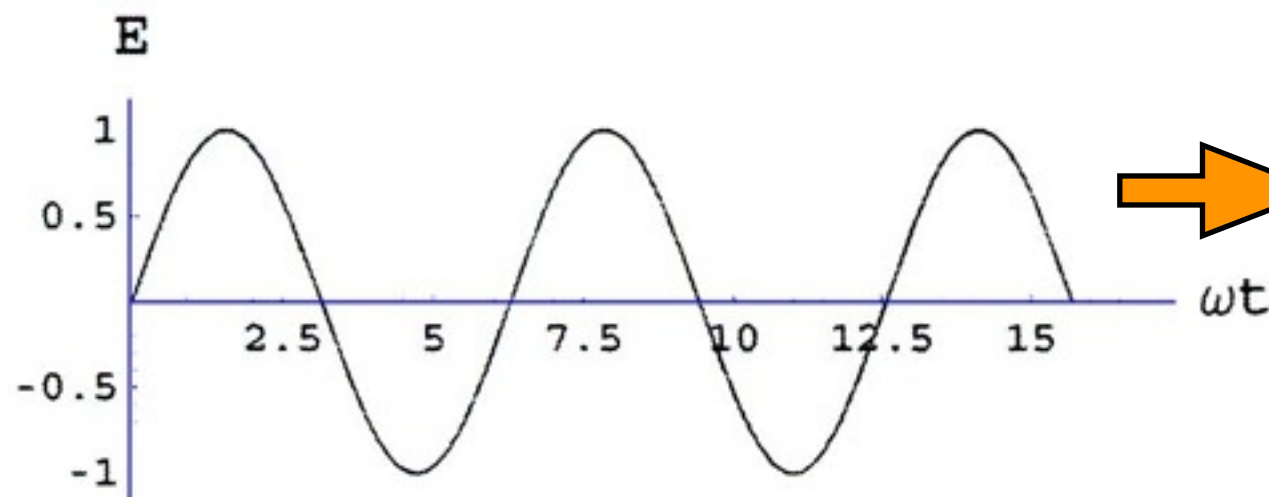


Fig.8.6(a)

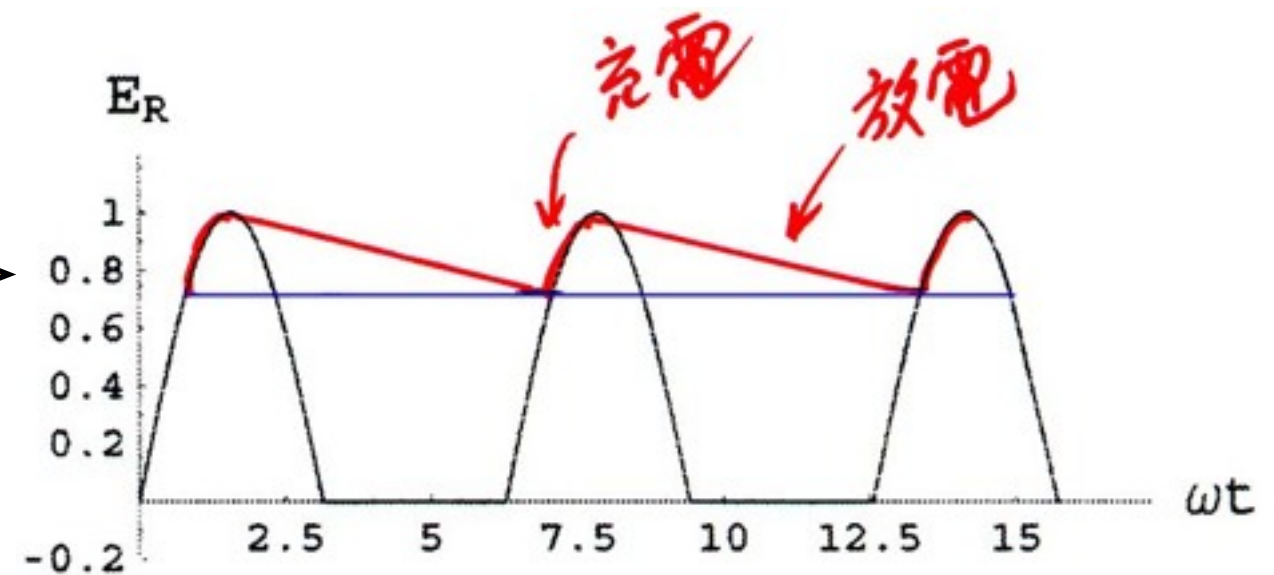
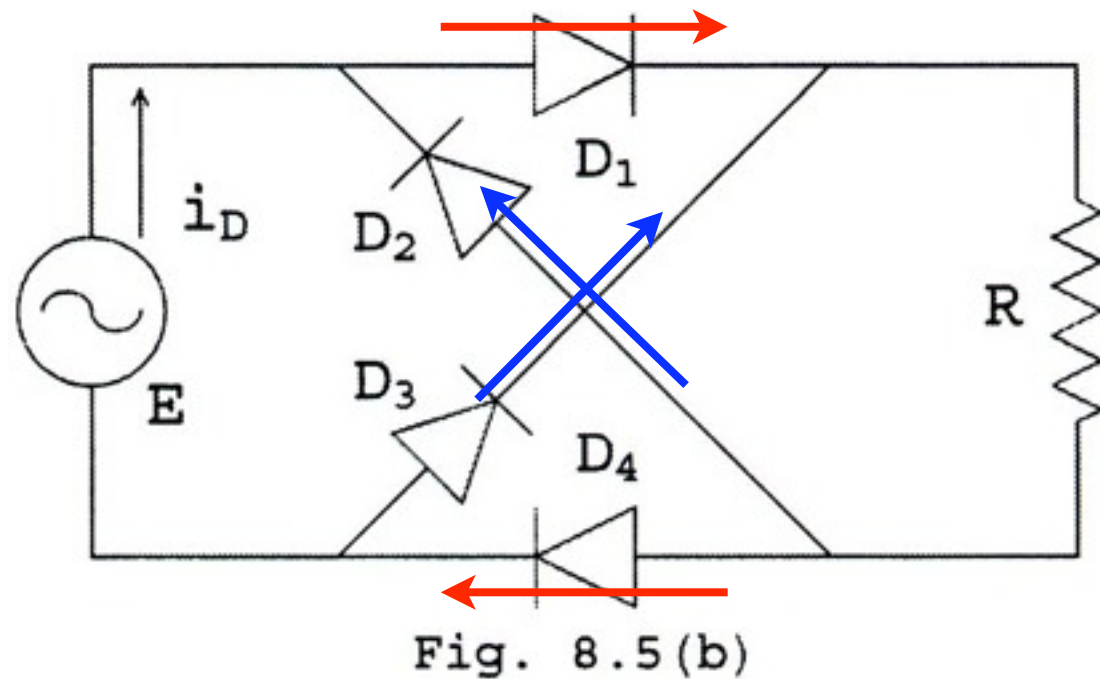
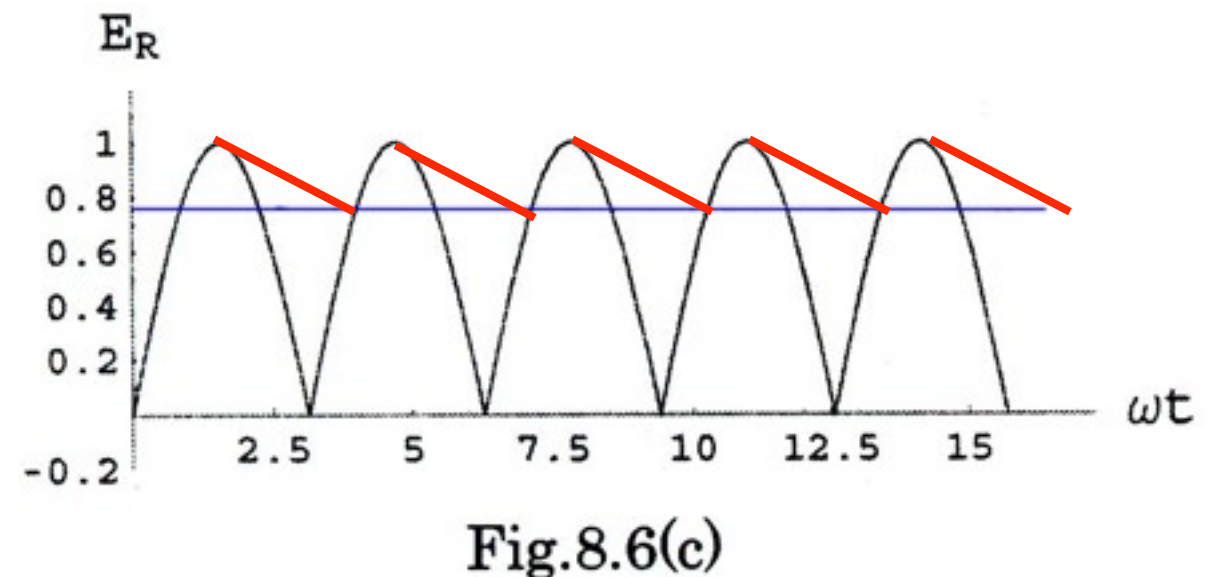
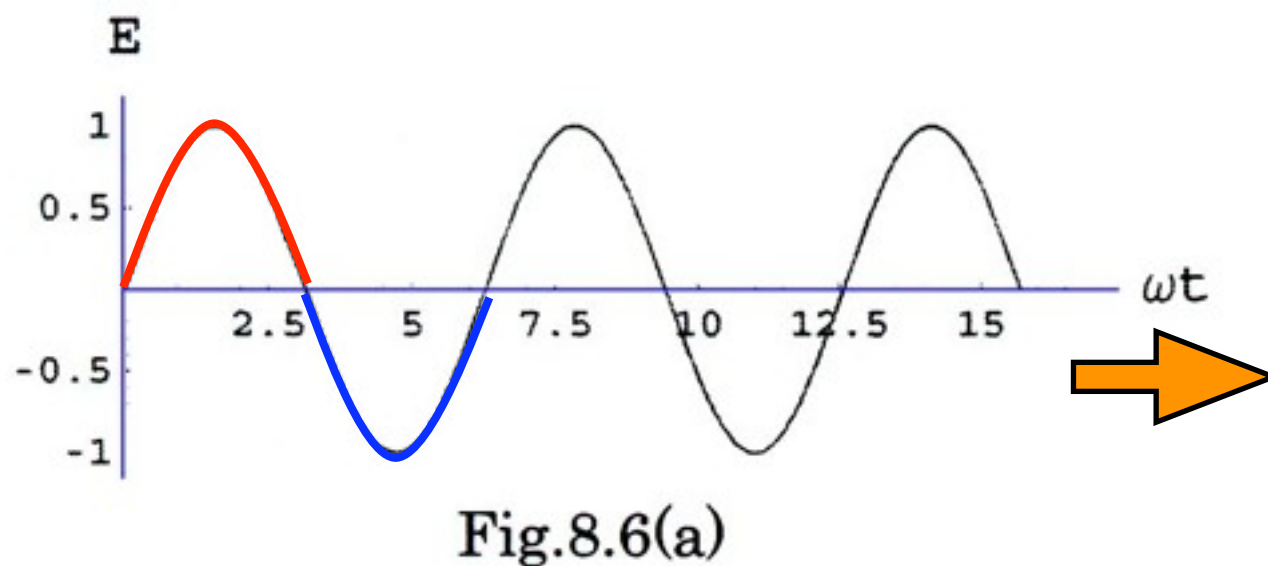


Fig8.6(b)

• 全波整流回路



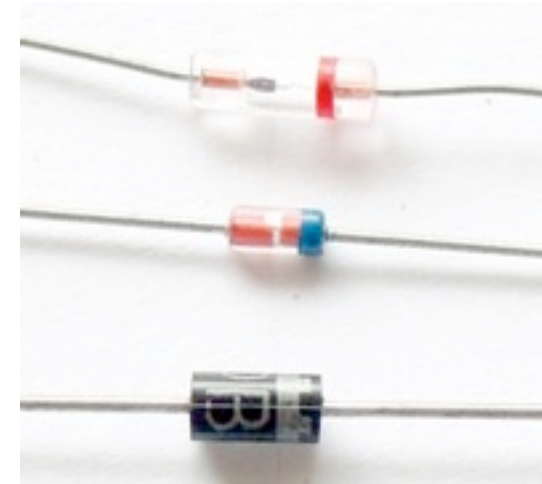
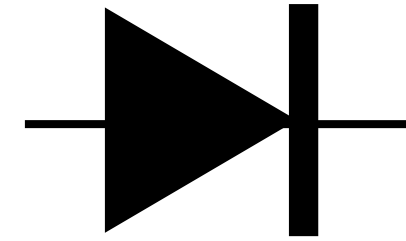
- コンデンサが無くても平均電圧は高い
- 電圧変動が小さい（小さいコンデンサでよい）
- 今はダイオードよりコンデンサの方が高いので、全波整流の方が安くつく。



ダイオードのいろいろ

参考

- 小信号用D
- 整流用D
- 発光D (LED)



$$V_F = 2 \sim 3.5V$$

8章 PN接合ダイオード

今回のポイント

- PN接合ダイオード
 - PN接合と整流作用
 - 半導体ダイオードの理論式
 - 動作特性図 V_F の違い
 - 図式解法
 - 整流回路

次回のポイント

- バイポーラートランジスタの原理
- トランジスタの静特性
- トランジスタの増幅作用
- 動作点の決定
- バイアス抵抗の設定

トランジスタの等価回路