

化合物半導体と半導体ヘテロ接合

1. 化合物半導体

ここでは応用の進む III-V 族化合物半導体について述べる。

IV 族の Si と平均的には同じ電子構造

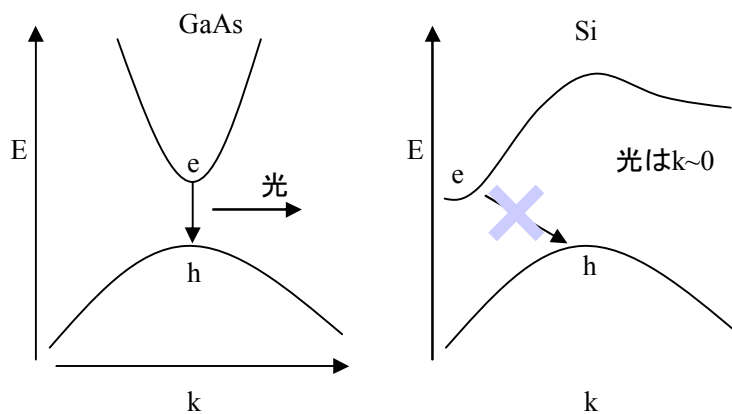
Periodic table

II	III	IV	V	IV
Be	B	C	N	O
Mg	Al	Si	P	S
Ca	Ga	Ge	As	Se
Sr	In	Sn	Sb	Te

They have the same electron configuration as Si in average.

2. III-V 族化合物半導体の特徴

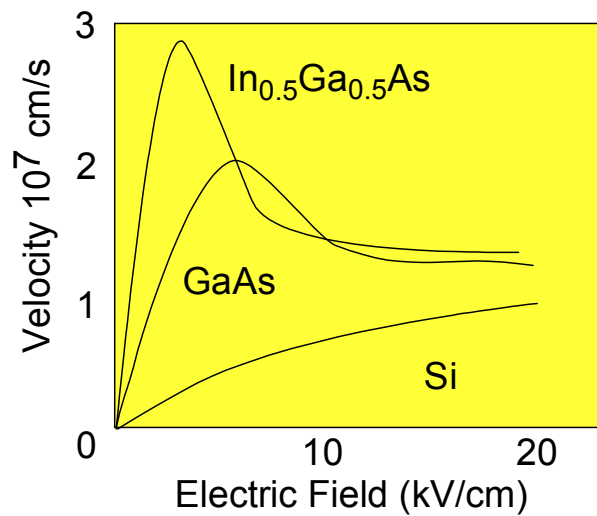
① 光る（ものがある）！



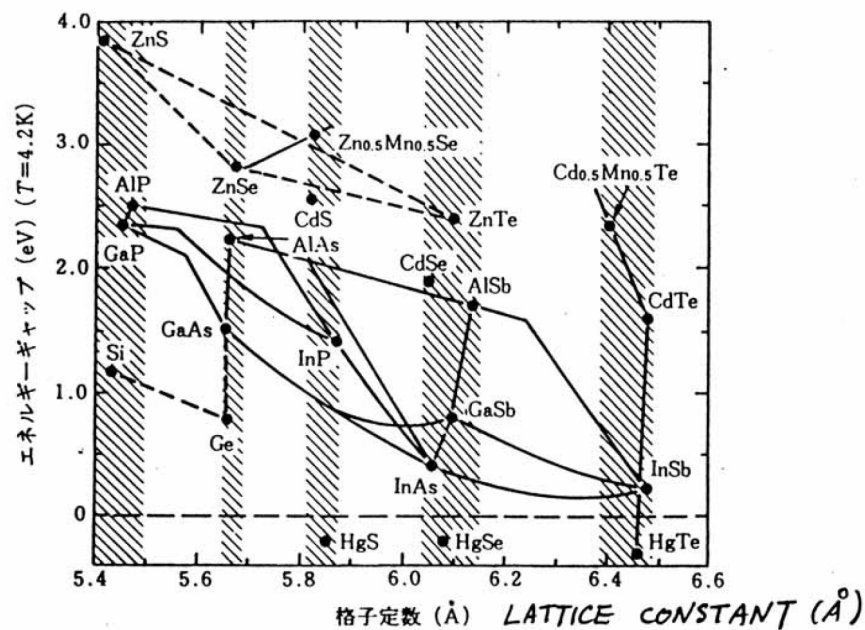
② 電子の有効質量が軽い（ものがある）

移動度大

実効電子速度大



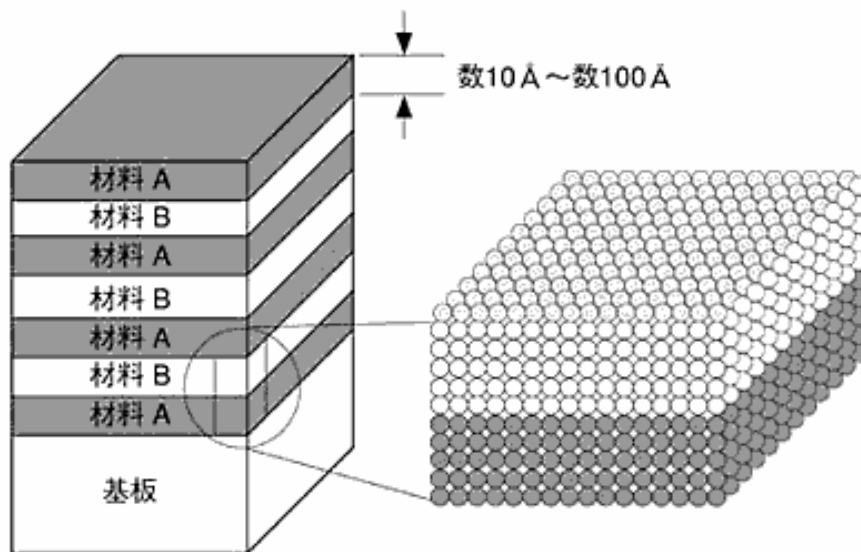
- ③ バンドギャップの広い材料を用いて絶縁性の高い基板が作れる
 デバイスー基板、配線ー基板間の容量を小さくできる
 超高速 IC MMIC (microwave monolithic IC, millimeter wave monolithic IC)
- ④ 様々な組み合わせで混晶が作れる。
 格子定数、バンドギャップなど様々な材料を合成可能
 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}$, $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$, ...



- ⑤ 様々なヘテロ接合ができる

3. ヘテロ接合とは？

バンドギャップなど性質の異なる半導体材料を接合したもの<->ホモ接合



4. ヘテロ接合における格子整合・不整合の問題

格子不整合 → dangling bond 発生 → 界面順位 良質なヘテロ接合の形成が難しい。
 化合物半導体では混晶を作ることにより、格子定数とバンドギャップを独立に選べる。
 → バリエティに富んだヘテロ接合が可能。

5. ヘテロ接合を特徴付ける物理量

① 伝道帯不連続 ΔE_c

価電子帯不連続 ΔE_v

$$\rightarrow \Delta E_c + \Delta E_v = E_G$$

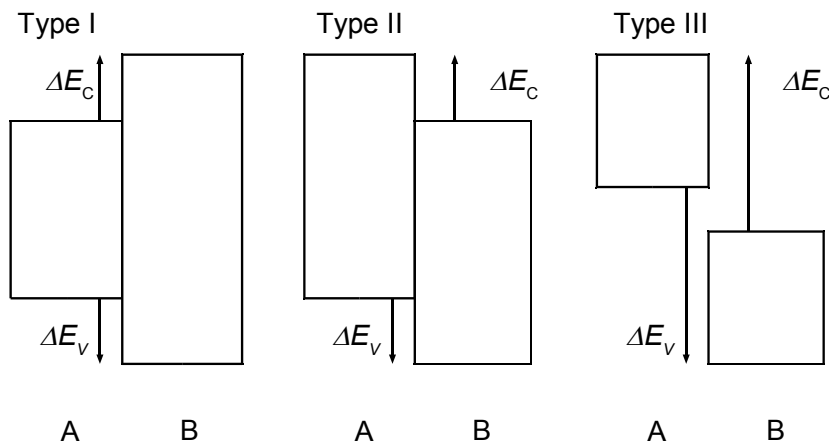
② これらの量は電圧や不純物によって変化しない

③ 通常、これらは各半導体の電子親和力によって決まるとされているが、まだ、研究の対象であり、議論がある。現象論的にはショットキーの高さから推測するのが良く合う。

$$\rightarrow q\phi_1 - q\phi_2 = \Delta E_{c12}$$

④ 良質なヘテロ接合では界面順位が少ないので界面に電荷がない → 界面で電界は連続 (ただし、GaN 系の様にピエゾ効果があると良質なヘテロ接合でも界面に電荷がある。)

6. ヘテロ接合のタイプ



練習問題

電荷分布も図中に+, -で示すこと。厳密である必要はないが、物理現象がわかる程度には正確に書くこと。ただし、以下のヘテロ接合では $\Delta E_C=0.20\text{eV}$, $\Delta E_V=0.10\text{eV}$, $E_G(\text{GaAs})=1.4\text{eV}$, $E_G(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As})=1.7\text{eV}$ とせよ。

- 1) $n^-\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/n^-\text{GaAs}$ のヘテロ接合のバンド図を描け。ただし $n=10^{17}\text{cm}^{-3}$
- 2) $n^-\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/i\text{-GaAs}$ のヘテロ接合のバンド図を描け。ただし $n=10^{17}\text{cm}^{-3}$
- 3) $n^-\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/i\text{-GaAs}/n^-\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ のヘテロ接合のバンド図を描け。ただし $n=10^{17}\text{cm}^{-3}$, i 層の厚さが 10nm と 100nm の場合について考えよ。
- 4) $n^+\text{-GaAs}/i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/n^-\text{GaAs}$ のヘテロ接合のバンド図を描け。ただし $n^+=10^{19}\text{cm}^{-3}$, $n^-=10^{16}\text{cm}^{-3}$
- 5) 金属 $/i\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/n^-\text{GaAs}$ のヘテロ接合のバンド図を描け。ただし $n^+=10^{19}\text{cm}^{-3}$, $n^-=10^{16}\text{cm}^{-3}$
- 6) 4)と 5)について電流電圧特性を考えよ。