

半導体工学 Semiconductor Devices

教科書 : 「基礎半導体工学」 小林敏志、金子双男、加藤景三 共著 コロナ社

講義範囲: 第 6 章 pn 接合

第 7 章 pn 接合ダイオード

第 8 章 金属と半導体の接触

第 9 章 バイポーラトランジスタ

第 10 章 電界効果トランジスタ

第 11 章 11-3 光半導体デバイス

【復習】**Si の原子モデル**

Fig.1 にボーアの原子モデルによる Si 原子のモデルを示す。電子の周回半径 r はとびとび(不連続)な値になる。原子モデルをさらに詳しく議論していくと、軌道(orbital)という考えが必要になる。K 殻には 1s 軌道、L 殻には 2s、2p 軌道、M 殻には 3s、3p、3d という軌道がある。

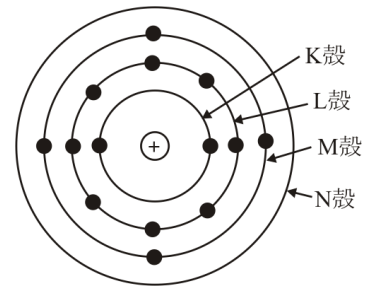


Fig.1 Si の原子モデル

エネルギー帯

一つの原子が孤立した状態での電子のエネルギーはとびとびの状態しか取り得ない(Fig.2)。一方、固体では原子が密集して存在しているため、エネルギー準位は原子の数だけ分裂する。それゆえ、個々の準位も密集して 1 つ 1 つ 区別できないので、これを 1 つの領域として考えると、Fig.3 に示すように電子のエネルギー準位は幅を持った帯状になる。

それぞれのエネルギー領域を「**エネルギー帯 (バンド)**」と呼び、電子の入り得る帯域を「**許容帯**」、許容帯間の電子の存在できない帯域を「**禁制帯**」という。このようにエネルギー状態を帯状の状態とする考え方を「**エネルギー帯理論**」という。

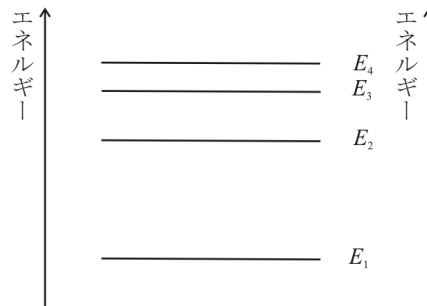


Fig.2 孤立原子の準位

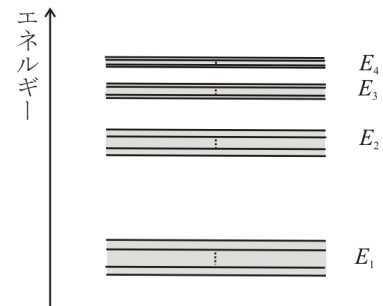


Fig.3 固体中の準位

共有結合

原子構造を考えた時、原子核の周りを運動する電子の一番外側の軌道を**最外殻**といい、そこに存在している電子を**価電子**と呼ぶ。代表的な半導体である Si(シリコン)は IV 族元素なので、価電子は 4 個である。最外殻の電子が 8 個のとき価電子配置が安定するため、隣り合う 4 つの他の原子と互いに電子を共有しあって結合する。この結合を**共有結合(covalent bond)**と呼ぶ (Fig.4)。

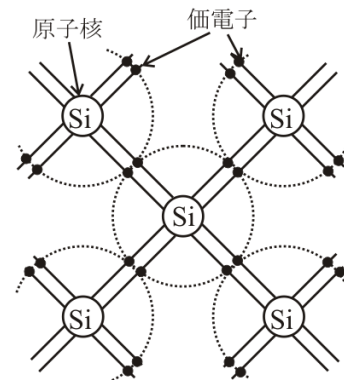


Fig.4 Si の共有結合

6 pn 接合

p 形半導体 (IV族+III族)

母体IV族原子の価電子をIII族原子が奪って共有結合する。電子の抜けた穴が**正孔(ホール)**となって電気伝導に寄与する。

飽和領域(室温)でのp形半導体のフェルミ準位 E_{Fp} の位置は価電子帯上端 E_V の直ぐ上にある。

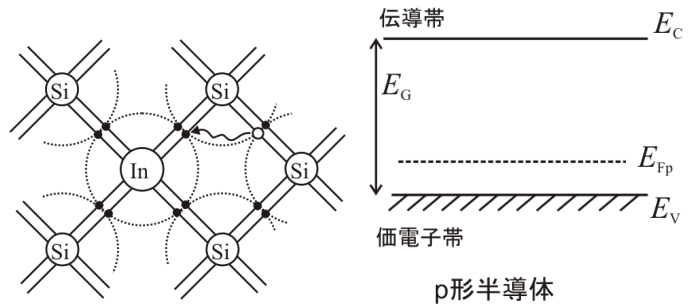


Fig.5 p 形半導体の結合モデルとフェルミ準位

n 形半導体 (IV族+V族)

V族原子の価電子の1個がフリーとなって電気伝導に寄与する。

飽和領域(室温)でのn形半導体のフェルミ準位 E_{Fn} は伝導帯下端 E_C の直ぐ下に位置する。

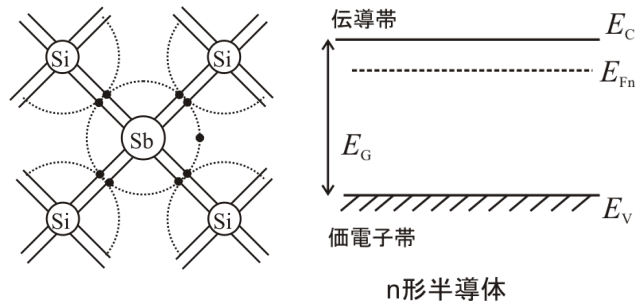


Fig.6 n 形半導体の結合モデルとフェルミ準位

6-1 pn 接合の構造

一つの半導体結晶で、p 形と n 形が互いに結合している状態を**pn 接合(pn junction)**という。すなわち、接合とは、二つの物質の結晶性がある程度の連続を保つように結合したものを指している。接合と似た言葉に**接触(contact)**があるが、接触は単に二つの物質が合わさっている状態の場合に使う。8 章で出てくる金属と半導体の場合は、**金属-半導体接触(metal-semiconductor contact)**と呼ぶ。この講義では、接触と接合という言葉をもとせずわけて使用する。

p 形半導体と n 形半導体を原子的に結合させたとき、二つの領域の間に不純物濃度が変化する領域が現れる。この領域を**遷移領域(transition region)**と呼ぶ。p 形と n 形間の遷移領域部を pn 接合という。遷移領域において、半導体の不純物濃度、すなわち p 形におけるアクセプタ密度と n 形におけるドナー密度の濃度変化が急激な接合を**階段接合(step junction)**、緩やかに変化しているものを**傾斜接合(graded junction)**と呼んでいる (Fig.7 および Fig.8)。また、アクセプタ密度とドナー密度が等しくなる面を **pn 境界(pn boundary)**という。

pn 接合の形成方法としては、**合金法(alloying method)**、**拡散法(diffusion method)**、**イオン注入法(ion implantation)**などがある。

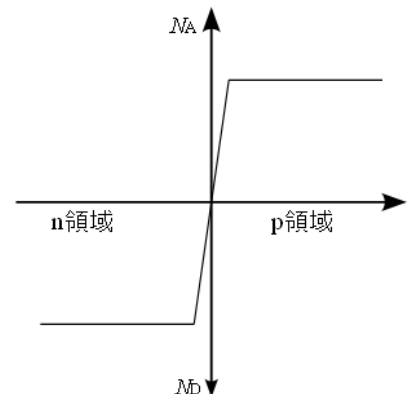


Fig.7 階段接合の不純物分布

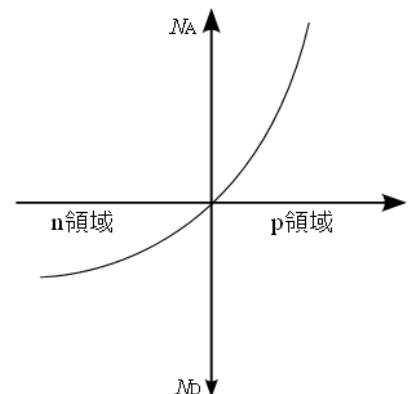


Fig.8 傾斜接合の不純物分布