

3-7 不純物半導体のエネルギー帯図

・n 形半導体: IV 族+ドナー原子(主に V 族元素)

ドナーの Sb は周囲の Si と共有結合する。5 個の価電子のうち、4 つ共有結合し、5 番目の電子は Sb 原子と弱く結合。この電子はわずかなエネルギーにより結合を離れ、伝導電子となる(伝導帯に励起する)。よって、このドナーの電子のエネルギー準位は伝導帯のすぐ下に位置していると考えることができる。

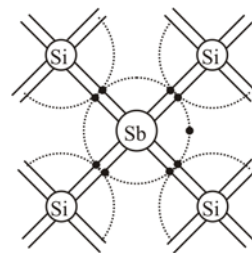


図1 n 形半導体の結合モデル

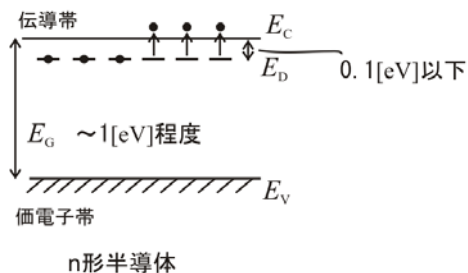


図2 ドナー準位

E_D :ドナー準位(donor level)

伝導帯下端の直ぐ下に存在

ドナーの電子はイオン化エネルギー(イオンになるのに要するエネルギー)を得ると、伝導帯に励起し、伝導電子となる(ドナーはドナーイオンとなる)。

・p 形半導体: IV 族+アクセプタ原子(主に III 族元素)

アクセプタは Si から価電子を 1 個奪って共有結合する(そのためアクセプタ原子はイオン化する)。電子を奪われた Si には電子の抜けた正孔ができ、この正孔が電気伝導に寄与する。これより、アクセプタは価電子帯から簡単に(少しのエネルギーで)電子を奪えると考え、アクセプタ準位は価電子帯のすぐ上に位置すると言える。

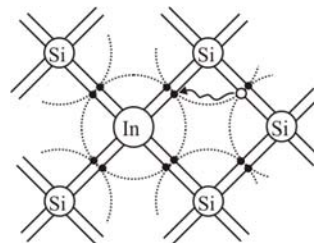


図3 p 形半導体の結合モデル

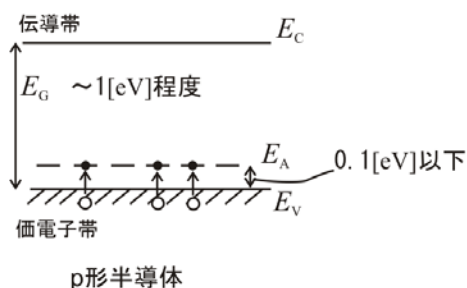


図4 アクセプタ準位

ドナーの場合と同様に、イオン化エネルギーを得て、価電子帯から電子を受け取る。

E_A :アクセプタ準位(acceptor level)

価電子帯上端の直ぐ上に存在

3-8 ドナー準位

n 形半導体のドナー原子に弱く結合している 5 番目の電子の結合エネルギーは不純物のイオン化エネルギーに等しい。イオン化エネルギー E_I を水素原子モデルから考えると

$$E_I = E_{n=\infty} - E_{n=1} = \frac{m^* q^4}{8\epsilon_0^2 \epsilon_r^2 h^2} = \frac{13.6}{\epsilon_r^2} \frac{m^*}{m} \text{ [eV]}$$

となる。Si の比誘電率 ϵ_r と電子の有効質量 m_e^* を考慮すると、ドナー準位と伝導帯下端 E_c との差(イオン化エネルギー)は 0.1 eV 以下と見積もることができる。

同様に、アクセプタ準位と価電子帯上端 E_v との差も 0.1 eV 以下となることがわかる。

常温(300K)では、熱エネルギーは $kT \sim 0.026 \text{ eV}$ なので、ほとんどのドナー、アクセプタはイオン化されている。