

1-5 導電率制御

真性半導体(intrinsic semiconductor)：不純物を含まない純粋な半導体(電気的特性として不純物の影響を考えなくても良い半導体)。Si や Ge の単結晶などがそれである。

半導体に外部エネルギー(光や熱など)が与えられると、価電子はそのエネルギーを得て容易に原子核の束縛から離れて伝導電子となり得る。電子は負電荷を持っているので、飛び出した電子の空席は正の電荷を持った穴(孔)と考えることができる。この価電子の抜けた孔は正の電荷を持った粒子のように振る舞うと考え、これを**正孔(hole)**と呼ぶ。隣接する価電子がこの孔を埋めるように移動したとき、孔もまたそれとは逆に移動すると考えることができる。すなわち、正孔もまた電子と同じように移動することができ、電子と共に電気伝導の担い手となることがわかる。それゆえ、半導体中の電子と正孔を、電気(電荷)を運ぶものという意味で**キャリア(carrier)**と呼ぶ。真性半導体では、正孔の数は自由電子の数と等しくなる。

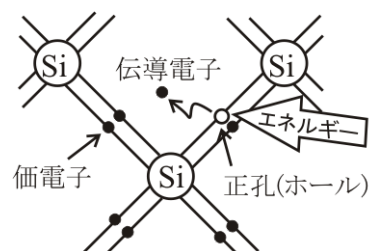


図1 電子正孔対の生成

不純物半導体(impurity semiconductor)：半導体の電気伝導を制御するために、不純物原子(impurity semiconductor)を意図的に添加(**ドーピング doping**)して結晶中の原子の幾つかを他の原子と**置換**することが行われる(添加する不純物は**ドーパント(dopant)**と呼ばれる)。IV族元素 Si に、本来 Si 原子がある位置に置換的にIII族あるいはV族の元素が入り込むと不純物半導体となる。

Si は最外殻軌道に 4 個の電子を有しており、周りの原子との結合の手は 4 つとなる。また、B や Al、Ga、In などのIII族元素は最外殻電子が 3 個あるので 3 つの結合手を持ち、N や P、As、Sb などのV族元素は 5 つの結合手を持っている(図 2)。半導体工学では Si に少量のIII族元素あるいはV族元素をドーピングすることでn型あるいはp型半導体としている。

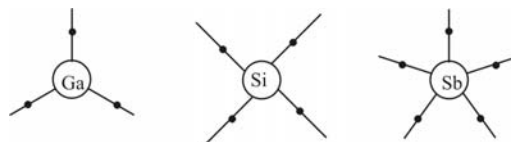


図2 III族、IV族、V族元素の結合手

n 型半導体(n-type semiconductor)

IV族元素 + V族元素(リン P、ヒ素 As、アンチモン Sb など)

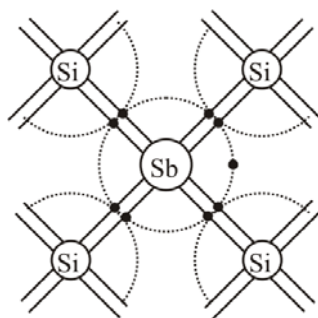


図3 n型半導体

不純物の Sb は周囲の(母体の)Si と共有結合する(5 個の結合手のうち、4 つが周囲の Si 原子と結合し、結合の手が 1 つ余る)。

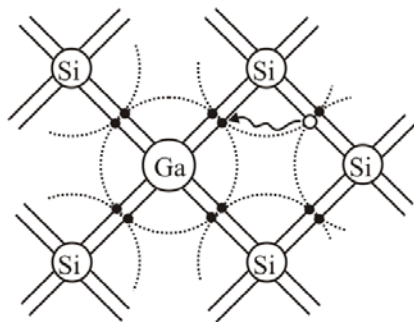
余った 1 個の価電子は Sb 原子と弱く結合している
低温では、Sb 原子の付近にある(熱的に極めて不安定)。
常温で容易に Sb 原子から離れて自由電子になる。

このように電子を生ずる働きをする不純物を**ドナー(donor)**という。ドナーは電子を手放してドナーイオン Sb^+ となる。 Sb^+ は周りの Si からエネルギー的に電子を奪えないため、 Sb^+ の移動は起きない。

n 型半導体では電子が多数存在するので電子が多数キャリアとなる(電子の数 > 正孔の数)。

p 型半導体(p-type semiconductor)

IV族元素+III族元素(ホウ素 B、アルミニウム Al、ガリウム Ga、インジウム In など)



不純物の Ga は周囲の Si と共有結合する(価電子が 3 個なので電子が 1 つ不足する。そのため Ga 原子は周囲の Si 原子から価電子を一個奪う)。

このように電子を受け取る働きをする不純物を**アクセプタ (acceptor)**という。アクセプタは電子を受け取ってアクセプタイオン Ga^- となる。

図 4 p 型半導体

電子の抜けた孔が正孔となり半導体内を自由に動き回る。p 型半導体では正孔が多数存在するので正孔が多数キャリアとなる(電子の数<正孔の数)。

表 1 に不純物半導体について整理する。

表 1 n 型および p 型半導体

	ドーピング元素例	不純物の呼び名	多数キャリア	少数キャリア
n 型半導体	P、As、Sb 等	ドナー	電子	正孔
p 型半導体	B、Al、Ga、In 等	アクセプタ	正孔	電子

補償型半導体(compensated semiconductor)

IV族元素+ (III族元素、V族元素)

ドナーとアクセプタが共存し、ドナー添加による効果とアクセプタ添付による効果が相殺されている場合、すなわち、伝導電子数と正孔数が等しい場合、その半導体は真性的な性質を持つことになる。このような半導体を補償型半導体という。