

不純物イオン領域・外因性領域・真性領域 (Impurityionrange・Extrinsicrange・Intrinsicrange)

北川 修久

ドナーまたはアクセプタを添加した外因性半導体に熱エネルギーを加えていく(温度を上昇させていく)と伝導帯、または価電子帯の多数キャリア濃度は熱エネルギー(温度)に依存して変化する。この多数キャリア濃度の変化は加えられた熱エネルギー(上昇した温度)によって3つの領域に分けることができる。そのそれぞれの領域を不純物イオン領域・外因性領域・真性領域という。n形半導体でもp形半導体でも多数キャリアを電子として考えるか正孔として考えるかという違いだけであり、考え方はほぼ同じなので、ここではドナーのみが添加されていてアクセプタは含まれていないn形半導体について考える。

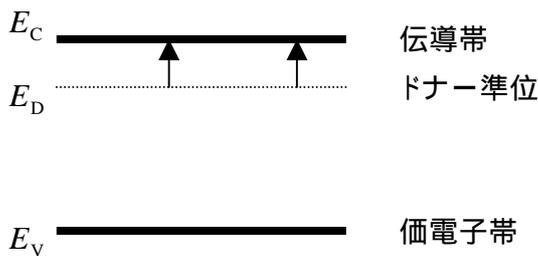


図1 不純物イオン領域のエネルギー帯図



図2 外因性領域のエネルギー帯図

(1)不純物イオン領域

低温の場合、価電子帯に比べて伝導帯の準位に近いドナー準位にある電子が伝導帯へ励起される。しかし価電子帯の電子は伝導帯に励起するだけのエネルギーを受け取ることができないので励起しない。この領域を不純物イオン領域という(図1参照)。この領域では電子濃度の対数を取った値 $\ln n$ は温度の逆数 $1/T$ に比例する。その傾きは負で大きさはドナーのイオン化エネルギーを $2k$ で割った値 $(E_C - E_D)/2k$ である。ここで k はボルツマン定数を表す。つまりこの領域では温度上昇によって伝導帯に熱励起される電子の数が増加する。

(2)外因性領域

不純物イオン領域よりさらに温度を上昇させるとドナー準位にある電子は伝導帯に出尽くす。しかし価電子帯の電子はまだ伝導帯に励起するだけのエネルギーを受け取ることができない。この領域を外因性領域という(図2参照)。この領域では電子濃度は温度に関わらず一定となる。

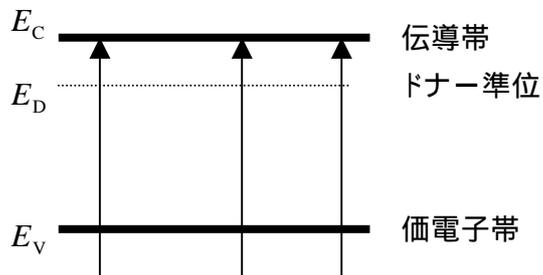


図3 真性領域のエネルギー帯図

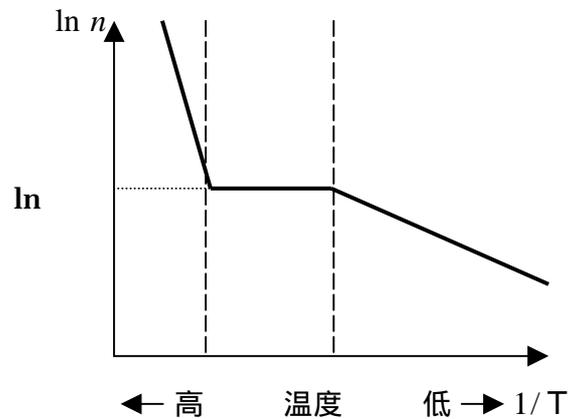


図4 n形半導体における電子濃度の温度依存性

(3) 真性領域

外因性領域よりもさらに温度を上昇させていくと価電子帯の電子は伝導帯に励起するだけのエネルギーを受け取り励起する。この領域を真性領域という(図3参照)。この領域では電子濃度の対数を取った値 $\ln n$ は温度の逆数 $1/T$ に比例する。その傾きは負で大きさはバンドギャップを $2k$ で割った値 $(E_C - E_V)/2k$ である。つまりこの領域では温度上昇によって伝導帯に熱励起される電子の数は増加し、その増加量は不純物イオン領域よりも多い。

それぞれの領域を考慮して縦軸 $\ln n$ 、横軸 $1/T$ としてグラフを描くと図4のようになる。この図では $1/T$ が不純物イオン領域、 $1/T$ が外因性領域、 $1/T$ が真性領域である。また、図中の $\ln N_D$ はドナー準位の全電子濃度の対数を取った値である。