電流連続方程式

波多腰玄一

1 はじめに

前回述べたポアソン方程式は，熱平衡状態におけるバンド構造の計算に有効である。一方，電流が流れている場合には，ポアソン方程式だけでは状態を記述できない。電流に対する電流連続方程式が必要となる。今回はこの連流連続方程式と，これをポアソン方程式と連立させて解く解法について述べる。

2 電子電流とホール電流

図1に発光ダイオード（LED）[1] の動作時におけるバンドの状態の例を示した[2]。この構造は前章の図7で示した2重ヘテロ（DH）構造である。この例では電子が伝導帯を左から右に流れ，ホールが価電子帯を右から左に流れている。ホールは第31章で定義したように電子の空孔である。したがって，ホールが右から左に流れているというのは，実際には電子が左から右に流れていることを表している。すなわち図1では全領域で電子が左から右に流れている。

電流は電荷が$+e$の粒子の流れである。電子の電荷は$-e$なので，電流の流れる方向は電子の流れる方向とは逆向きに定義される（図1参照）。一方，ホールの電荷は$+e$なので，電流の流れる方向はホールの流れる方向と同じである。そこで図1に示したように，電子電流とホール電流をそれぞれ定義する。電子電流は伝導帯を流れる電子による電流であり，ホール電流は価電子帯を流れるホールによる電流である。

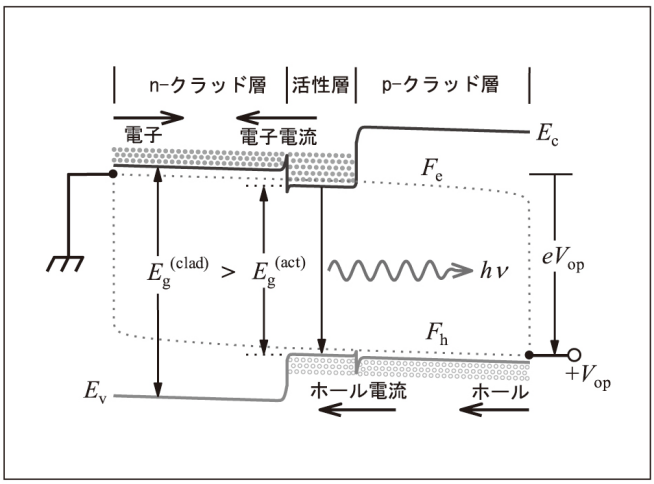

図1　LEDの動作時におけるバンドの状態[2]

図1に示したF_e，F_hはそれぞれ電子とホールに対する擬フェルミ準位である。フェルミ準位というのは電気化学ポテンシャルであり，この勾配が荷電粒子（この場合は電子）の動く方向を決める。すなわち，電子はフェルミ準位の高いところからフェルミ準位の低いところへ動く。したがってホールはその逆で，フェルミ準位の低いところからフェルミ準位の高いところへ動く。

なお，フェルミ準位の勾配ではなく，前章で定義した電位ψの勾配により流れる電流をドリフト電流という[3, 4]。またキャリヤー密度の勾配に比例して流れる電流は拡散電流と呼ばれる[3, 4]。以下の式で述べる電流密度はフェルミ準位の勾配とキャリヤー密度の積に比例するもので，ドリフト電流と拡散電流の両方を含んでいる（付録1参照）。フェルミ準位に対応するϕ_n，ϕ_pと電位ψとは異なる