

問題 5

I. 図 1 に示すポテンシャル，すなわち

$$\text{領域 I : } V(x) = 0 \quad x < 0$$

$$\text{領域 II : } V(x) = V_0 (> 0) \quad 0 \leq x \leq w$$

$$\text{領域 III : } V(x) = 0 \quad x > w$$

で与えられるポテンシャル障壁に， $x = -\infty$ からある運動エネルギー E を持つ粒子が入射する場合において，このポテンシャル障壁による粒子の反射と透過の確率について考える．

(1) $E > V_0$ の場合を考える．

(1-i) 粒子の波動関数 $\Phi(x)$ に関する定常状態のシュレディンガー方程式は

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Phi(x)}{dx^2} + V(x)\Phi(x) = E\Phi(x) \quad (\text{i})$$

で与えられる．ただし， m は粒子の質量， \hbar はプランク定数 h を 2π で割ったものである．領域 I, II, IIIにおいて， $\Phi(x)$ はそれぞれ次式で表される．

$$\text{領域 I : } \Phi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}$$

$$\text{領域 II : } \Phi(x) = Ce^{i\alpha x} + De^{-i\alpha x}$$

$$\text{領域 III : } \Phi(x) = Fe^{ikx}$$

ここで i は虚数単位， k と α は波数で正の実数， A, B, C, D, F は複素数の定数である． k と α を \hbar, m, E, V_0 の中から必要なものを用いて表せ．

(1-ii) $x = 0$ と $x = w$ における $\Phi(x)$ に関する境界条件を式で表せ．これらの式から A, B, C, D を F に比例する式で表せ．

(1-iii) $x = -\infty$ から入射する粒子がポテンシャル障壁により反射される確率 R と透過する確率 T は，以下の式(ii)と(iii)で表されることを示せ．

$$R = \left[1 + \frac{4E(E - V_0)}{V_0^2 \sin^2(\alpha w)} \right]^{-1} \quad (\text{ii})$$

$$T = \left[1 + \frac{V_0^2 \sin^2(\alpha w)}{4E(E - V_0)} \right]^{-1} \quad (\text{iii})$$

(1-iv) $E > V_0$ の場合でも必ずしも透過確率 T が1にならない． T が1になる条件を求めよ．なぜそのような結果となるのか，古典力学と量子力学の違いという観点から5行程度で説明せよ．

(2) $E < V_0$ の場合を考える．粒子がポテンシャル障壁を透過する確率 T を求めよ． $E < V_0$ でも T が0にならない．その理由を古典力学と量子力学の違いという観点から5行程度で説明せよ．

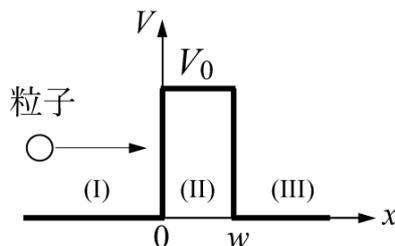


図 1

II. 図2(a)に金属とN型半導体を接触させる前のエネルギーバンド図を示す. N型半導体のドナー密度を N_D , 活性化率を100%とする(すべてのドナーがイオン化し, 一つのドナー当たり一つの電子を放出する). 両者の真空準位 E_S は等しい. 金属のフェルミ準位を E_{FM} , 半導体の伝導帯下端, 価電子带上端, フェルミ準位をそれぞれ E_C , E_V , E_{FS} とする. また, $q\Phi_M$, $q\Phi_S$ は, それぞれ金属と半導体の仕事関数, $q\chi$ は半導体の電子親和力と呼ばれ, これらは材料で決まる定数であるとする. q は素電荷である.

- (1) $\Phi_M > \Phi_S$ の場合において, 金属と半導体を接触させた場合のエネルギーバンド図を示せ(これはショットキー接触と呼ばれる). 図中に E_S , E_C , E_V , E_{FS} , E_{FM} を明示すること. ただし, 表面酸化膜や未結合手(ダングリングボンド)がない理想的な界面が形成されるものとする.

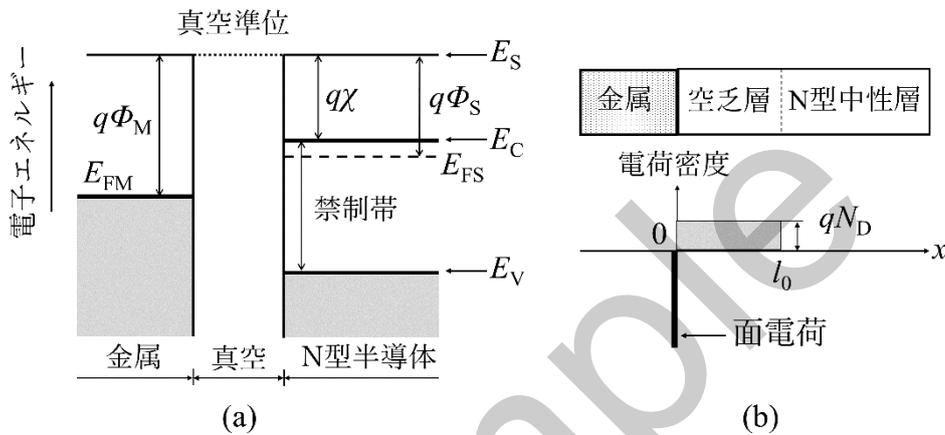


図2

問(1)で説明したショットキー接触をもつ金属-半導体界面における電荷の分布を考える. 図2(b)に示すように, 通常は界面から半導体側に空乏層が形成され, 空乏層幅 l_0 までの領域($0 < x < l_0$)では, N型半導体中のドナーイオンによる正の空間電荷が密度 N_D で一様に分布する. $x > l_0$ の半導体領域をN型中性層と呼ぶ. 一方, 界面の金属側には面密度 $-Q$ の負電荷がある.

- (2) 金属と半導体の界面において, 金属側とN型中性層側のそれぞれの電子キャリアが感じるポテンシャル障壁の高さを図2(a)に与えられるパラメータの中から必要なものを用いて示せ. ただし, 半導体のドナーから供給される電子キャリアは伝導帯下端にあるものとする.
- (3) 空乏層幅 l_0 , および金属界面に分布する電荷面密度の大きさ Q を求めよ. 必要に応じて, 真空の誘電率 ϵ_0 とN型半導体の比誘電率 ϵ_r を用いてもよい.
- (4) 直流電圧源の正極を金属側に, 負極を半導体側に接続する. バイアス電圧 V をかけて電流 I を測定すると整流特性が現れる. その $I-V$ 特性の概形を描き, なぜそのような $I-V$ 特性になるのか説明せよ.
- (5) 上記の整流特性による高い接触抵抗はデバイス動作において問題になる場合が多い. この高い接触抵抗を下げるための方法を述べよ.