

平成 27 年度弁理士試験論文式筆記試験問題

[電子デバイス工学]

1. 金属と半導体の接合について考える。電気素量を q として、以下の問いに答えよ。ただし、金属と半導体の界面に界面準位はないものとする。

【40点】

- (1) 接合する前の金属と N 型半導体のエネルギーバンド図を図 1 に示す。金属のフェルミ準位と真空準位とのエネルギー差を $q\phi_M$ 、半導体のフェルミ準位と真空準位とのエネルギー差を $q\phi_s$ と表す。また、半導体の伝導帯の底と真空準位とのエネルギー差を $q\chi_s$ と表す。 ϕ_M と ϕ_s は、それぞれ金属と半導体の (ア) と呼ばれ、 χ_s は、半導体の (イ) と呼ばれる。
- ① (ア) に入る語句を書け。
 - ② (イ) に入る語句を書け。
- (2) $\phi_M > \phi_s$ のとき、半導体と金属を接合した場合を考える。
- ① 接合後のエネルギーバンド図の概形を描け。接合後のフェルミ準位も記入すること。
 - ② このとき、金属と半導体の界面にエネルギー障壁が生じる。金属側のエネルギー障壁の大きさを $q\phi_b$ としたとき、 ϕ_b を求めよ。
 - ③ 半導体側の拡散電位 ϕ_D を求めよ。
 - ④ 金属と半導体の間に電位差を与えたときの電流電圧特性の概形を描け。電圧と電流の向きを定義すること。
 - ⑤ このような金属と半導体の接合は、一般的に何と呼ばれるか、答えよ。
- (3) $\phi_M < \phi_s$ のとき、半導体と金属を接合した場合を考える。
- ① 接合後のエネルギーバンド図の概形を描け。接合後のフェルミ準位も記入すること。
 - ② 金属と半導体の間に電位差を与えたときの電流電圧特性の概形を描け。電圧と電流の向きを定義すること。
 - ③ このような金属と半導体の接合は、一般的に何と呼ばれるか、答えよ。

(次頁へ続く)

- (4) 実際のシリコンLSIでは、アルミニウムや銅が配線材料として用いられているが、金属と接触する部分は、高濃度にドーパしたN⁺型又はP⁺型シリコンにするのが一般的である。その理由を説明せよ。

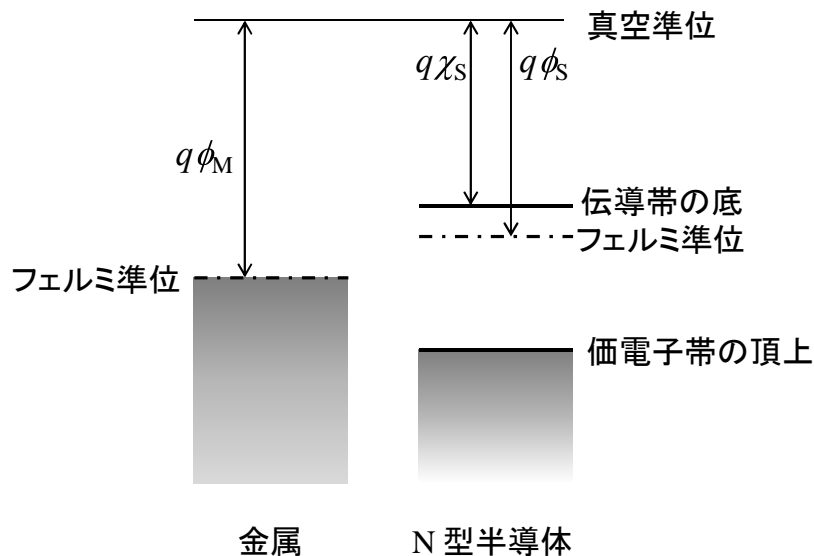


図1 接合前の金属とN型半導体のエネルギーバンド図。
ただし、 $\phi_M > \phi_S$ の場合を示している。

2. PN接合フォトダイオードと太陽電池について、以下の問いに答えよ。

【35点】

- (1) PN接合フォトダイオードを順方向に流れる電流を I 、順方向電圧を V とする。PN接合面に光を照射したときの電流電圧特性はどのように表されるか、次の(ア)～(エ)から正しいものを選んで答えよ。

(ア) $I = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) + 1 \right] + I_P$

(イ) $I = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] + I_P$

(ウ) $I = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) + 1 \right] - I_P$

(エ) $I = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - I_P$

ただし、 I_S は逆方向飽和電流、 q は電気素量、 k はボルツマン定数、 T は温度である。
 I_P は光電流であり、照射光パワーと比例関係にある。また、 I_S と I_P は正である。

(次頁へ続く)

- (2) 照射光パワーの変化を電気信号に線形に変換するために、図2のように、PN 接合フォトダイオードに逆バイアス電圧 V_0 と負荷抵抗 R を接続した回路を考える。抵抗の両端の電圧 V_R が照射光パワーにほぼ比例し、歪みなく信号を取り出すためには、 V_0 と R をどのように決める必要があるか、説明せよ。
- (3) 光通信等で実際に使用されているフォトダイオードは、P 型領域と N 型領域の間にドーピング量が少ない真性領域を挟んだ PIN 構造が一般的である。PN 接合型に比べて、PIN 接合型にすることによる利点を二つ挙げて説明せよ。
- (4) 次に、照射光からエネルギーを取り出すために、PN 接合フォトダイオードを太陽電池として使い、図3のように、負荷抵抗 R のみを接続した回路を考える。光エネルギーから電気エネルギーへの変換効率を最大にするには、 R をどのように決める必要があるか、電流電圧特性の図を用いて説明せよ。（最大となるときの R の値を計算する必要はない。）
- (5) 一般的に用いられているシリコンを用いた PN 単接合太陽電池は、エネルギー変換効率の理論限界が約 30% 程度であることが知られている。シリコン系 PN 単接合太陽電池の効率が制限される要因を二つ挙げて説明せよ。

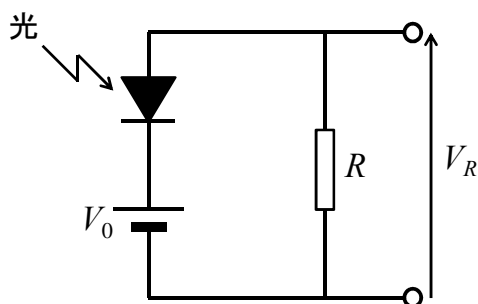


図2 PN 接合フォトダイオードの逆バイアス動作

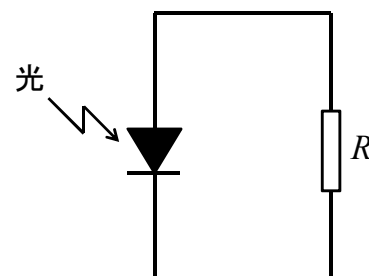


図3 PN 接合フォトダイオードの太陽電池動作

3. MOS 型電界効果トランジスタ (MOSFET) に関する以下の問いに答えよ。

【25点】

- (1) N 型 MOSFET の素子構造と原理を説明せよ。
- (2) MOSFET のスケーリング則とは何か、説明せよ。
- (3) MOSFET の微細化を進める上で、比誘電率の大きな絶縁膜の開発が重要になっている。その理由を説明せよ。