

平成25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. 以下の問いに答えよ。

【35点】

A. 半導体中のキャリアの輸送について考える。キャリアの電荷を q 、移動度を μ として、以下の問いに答えよ。

(1) 半導体内部に電界 E が存在するとき、キャリアは電界によって運ばれる。この現象を（ア）と呼ぶ。

① （ア）に入る語句を書け。

② キャリア密度を n とするとき、この現象により生じる電流 i_1 を求めよ。ただし、電界の向きを正とする。

(2) キャリアの密度勾配によって生じる電流を（イ）と呼ぶ。

① （イ）に入る語句を書け。

② 位置 x におけるキャリア密度を $n(x)$ とする。この現象により、密度勾配 (dn/dx) に比例した数のキャリアが流れる。その比例係数を D としたとき、生じる電流 i_2 を求めよ。

(3) D の表式を求める。

① 電界 E が存在する半導体内部のある点において、キャリア密度 $n(x)$ がボルツマン分布で $n(x) = N_c \exp[-qV(x)/k_B T]$ と表せるとする (N_c は定数、 $V(x)$ は位置 x における電位、 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度)。このとき、密度勾配 dn/dx を求めよ。

② 熱平衡状態では、正味の電流である i_1 と i_2 の和がゼロとなることから、 D と μ の関係式を求めよ。

(次頁へ続く)

B. 熱を電気に変換する、熱電変換素子について考える。熱電変換素子は、図1のように n 型と p 型の半導体が対になって直列に接続された構造を基本ユニットとして複数が直列に接続されている。上面と下面に温度差があるとき、ゼーベック効果によって電力を取り出すことができる。

- (1) 図1に示す構造をとるとき、なぜ n 型と p 型半導体を対として用いる必要があるのかを述べよ。
- (2) この素子を用いて、上面と下面の温度差を 50 度として赤色発光ダイオードを点灯したい。素子に用いられている n 型及び p 型半導体のゼーベック係数の大きさが $400 \mu\text{V/K}$ のとき、最低限必要なユニット数を選択肢の中から選び、その根拠を述べよ。

- ① 8 ② 16 ③ 32 ④ 64

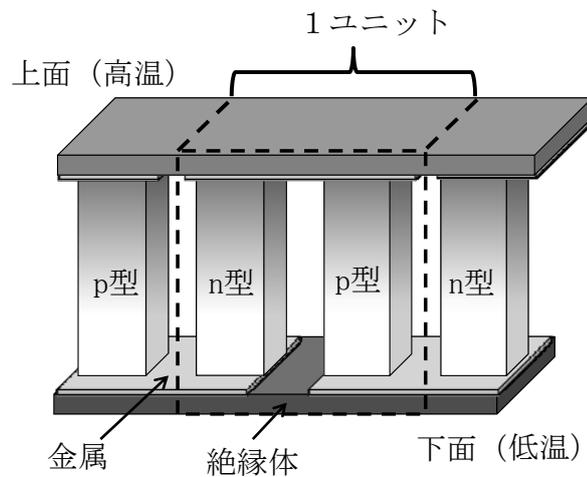


図1 熱電変換素子

2. 図2のように外部電界のない半導体中において、アクセプタ密度 N_A の p 型領域とドナー密度 N_D の n 型領域から構成される pn 接合ダイオードについて考える。接合面 ($x=0$) において、不純物密度は階段状に変化し、空乏層内には自由キャリアはないとする。以下の問いに答えよ。

【35点】

- (1) 図2のように pn 接合では、空乏層が形成され、固定電荷によるビルトインポテンシャル ϕ_B が形成される。半導体の誘電率を ϵ とし、必要であればポアソン方程式

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

を用いて解答せよ。ただし、 V は電位、 ρ は電荷密度を表す。

- ① 図2のように、p 型、n 型領域の空乏層厚をそれぞれ d_p 、 d_n とする。 d_p/d_n を N_A と N_D を用いて表せ。
- ② p 型、n 型領域の空乏層内に形成される電場 $E_p(x)$ 及び $E_n(x)$ を求めよ。
- ③ 電場の大きさが最大となる x の座標とその値を答えよ。
- ④ p 型、n 型領域の空乏層内のポテンシャル $V_p(x)$ 及び $V_n(x)$ を求め、空乏層及びその周辺の空乏化していない p 型、n 型領域の電位 $V(x)$ を図示せよ。ただし、 $V(x=0)=0$ とせよ。
- ⑤ 素電荷を e とし、 ϕ_B を求めよ。

- (2) 図3は、pn 接合ダイオードの電流電圧特性を模式的に示したものである。

- ① 図中の、電流が急激に変化している電圧 V_A よりもさらに逆方向バイアス電圧の大きさを増していくにつれ、急激に電流量が増加している。この現象は何と呼ばれるか、また、どのような物理過程で起こるかを説明せよ。
- ② 図中に示す逆バイアス領域の電圧 V_B 、順バイアス領域の V_C で動作させて用いる電子デバイスの例を各々1つあげよ。

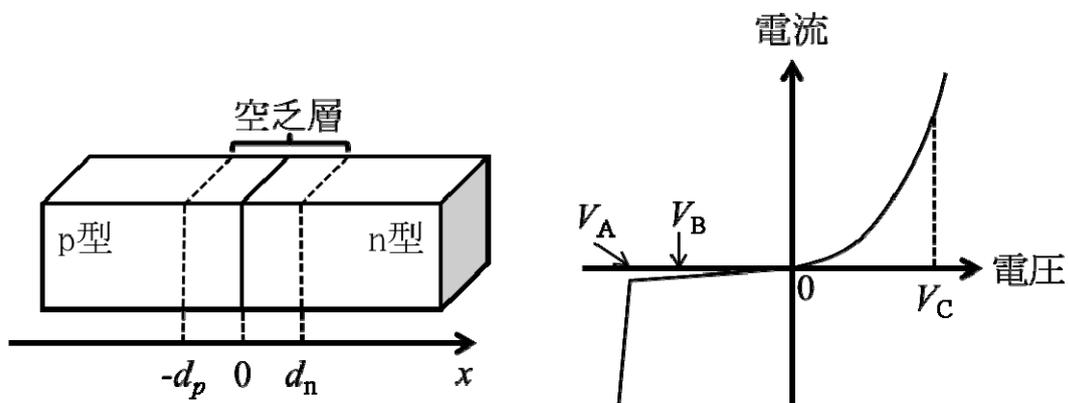


図2 pn 接合ダイオード

図3 電流電圧特性

3. 半導体レーザに関する以下の問いに答えよ。

【30点】

- (1) 最初に半導体でレーザ発振が実現されたのは、GaAs の pn 接合を用いたホモ構造であったが、その後開発された GaAs/AlGaAs ダブルヘテロ構造を有するデバイスによって、室温連続発振などの実用的な動作が可能になった。この材料系について、ダブルヘテロ構造がホモ構造に比べてレーザ発振に優位な構造であることを、キャリア及び光波の両観点から説明せよ。必要であれば図を用いてもよい。
- (2) レーザ発振に必要な利得を与える活性層に量子井戸構造を用いると、発振に優位であることが知られている。その理由を述べよ。
- (3) 社会に普及している半導体レーザを利用した製品を 3 つあげよ。