

## 平成 22 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. 半導体デバイスでは、異なった伝導型の同じ種類の半導体同士や異なる種類の半導体同士の接合が重要な役割を果たす。そのようなデバイスの動作を理解するための第一歩は接合部を含めたバンド図を描くことである。半導体の接合に関する以下の問いに答えよ。

【50点】

- (1) 半導体の接合を考える際に重要となる以下の物理量について、それぞれ 2～3 行程度で説明せよ。
- バンドギャップ  $E_g$
  - フェルミ準位  $E_F$
  - 電子親和力  $\chi$
- (2) 一様にドーパされた N 型シリコンと P 型シリコンを接合した場合（ホモ接合）を考える。接合前の熱平衡状態におけるバンド図は図 1 のとおりである。ここで、 $E_{Fn}$ 、 $E_{Fp}$  はそれぞれ N 型シリコン、P 型シリコンでの接合前のフェルミ準位であり、 $\delta_n$  は N 型シリコンの伝導帯下端と  $E_{Fn}$  のエネルギー差、 $\delta_p$  は  $E_{Fp}$  と P 型シリコンの価電子帯上端のエネルギー差である。
- 界面での不純物濃度分布が急峻な理想的接合が形成されるとして、接合後の半導体の熱平衡状態におけるバンド図の概形を描け。また接合後のフェルミ準位  $E_F$  も記入すること。
- (3) この接合に生じる内部電圧  $V_b$  を、(1) 及び図 1 中の記号のうち必要なものを用いて表せ。ただし、電荷素量は  $q$  とする。
- (4) 接合界面近傍にはキャリアがほとんど存在しない空乏層が形成される。空乏層の厚みはそれぞれの領域にドーパされた不純物濃度に強く依存する。N 型領域におけるドナー濃度が、P 型領域におけるアクセプター濃度よりも高い場合、N 側と P 側でどちら側の空乏層が厚いか、理由を付して答えよ。
- (5) 次に異なる種類の半導体を接合した場合（ヘテロ接合）を考えよう。N 型半導体 A と P 型半導体 B（A のバンドギャップの方が B のバンドギャップより大きい）について接合前の熱平衡状態におけるバンド図は図 2 のとおりである。半導体 A の電子親和力とバンドギャップはそれぞれ 3.7 eV、1.8 eV、半導体 B の電子親和力とバンドギャップはそれぞれ 4.1 eV、1.4 eV とする。また  $\delta_n$ 、 $\delta_p$  はそれぞれ 0.15 eV、0.10 eV とする。

(次頁へ続く)

- (a) 伝導帯下端のエネルギー差 $\Delta E_C$ と価電子帯上端のエネルギー差 $\Delta E_V$ をそれぞれ求めよ。
- (b) 接合後の熱平衡状態におけるバンド図の概形を描け。(2)と同様、理想的な段差接合を仮定せよ。また界面での格子不整合などの効果は無視してよい。接合後のフェルミ準位 $E_F$ も記入すること。
- (c) (2)で求めたホモ接合のバンド図と比べて最も顕著に異なる点を挙げよ。
- (6) このようなヘテロ構造は半導体デバイスの性能向上のためにしばしば用いられる。高周波デバイスに用いられる高電子移動度トランジスタ (HEMT) もその例である。HEMT では例えばN型 AlGaAs とドーピングされていない GaAs の接合界面をチャンネルとして利用する。この素子において、高い移動度が実現できる理由を説明せよ。

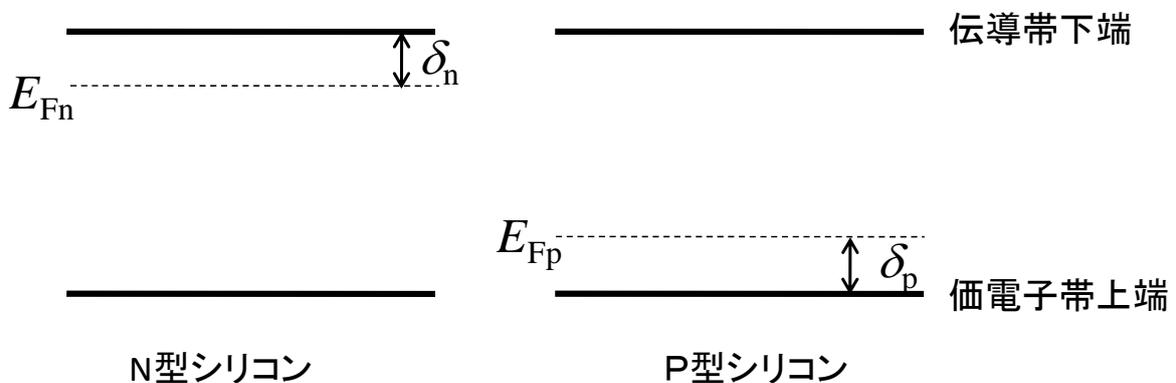


図1 接合前のN型シリコンとP型シリコンの熱平衡状態におけるバンド図。

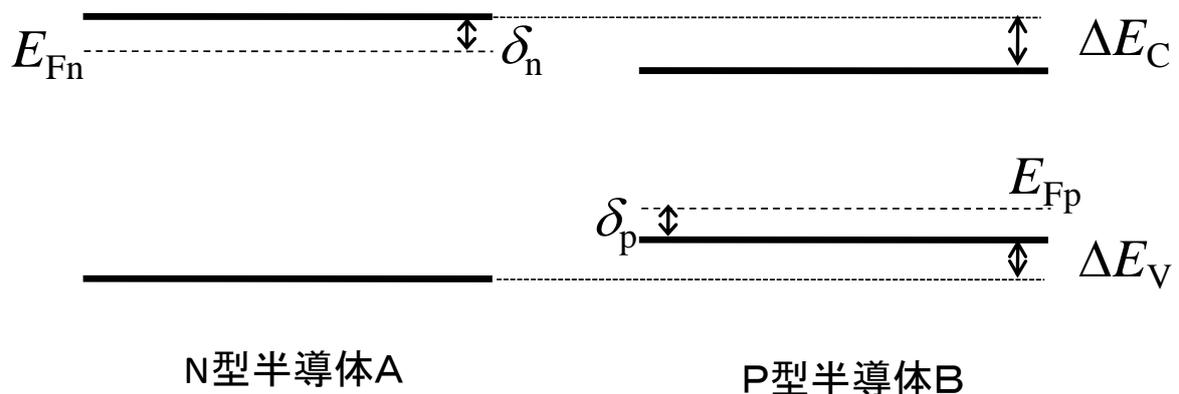


図2 接合前のN型半導体AとP型半導体Bの熱平衡状態におけるバンド図。

2. レーザに関して以下の問いに答えよ。

【30点】

- (1) レーザ光の特徴を三つ挙げ、白熱電球などから得られる光と比較して説明せよ。
- (2) レーザの基本的構造は2枚の鏡で構成された共振器中に適切な材料を挿入したものである。材料にエネルギーを投入することで、光利得効果を生じさせレーザ発振を実現する。一般的なレーザの入出力特性を図3に示す。ここでは、発振後において投入パワーの増加に対する光出力の増加の比をスロープ効率と定義する。以下の問いに答えよ。
- a) 発振閾値とスロープ効率の関係について、適切なものを選び、また、その物理的理由を説明せよ。
- ① 鏡の反射率を高くすると、閾値は低下し、スロープ効率も低下する。
  - ② 鏡の反射率を高くすると、閾値は低下し、スロープ効率は向上する。
  - ③ 鏡の反射率を高くすると、閾値は上昇し、スロープ効率は低下する。
  - ④ 鏡の反射率を高くすると、閾値は上昇し、スロープ効率も向上する。
- b) 閾値以下でも光出力は厳密にはゼロではない。その理由を説明せよ。
- (3) 半導体レーザでは外部から電流を流すことでエネルギーを注入しレーザ発振を実現する。その基本構造は、光増幅を担う材料をよりバンドギャップの大きな材料で挟み込んだダブルヘテロ構造である。この構造が採用される理由を説明せよ。
- (4) 光ファイバ通信以外で、半導体レーザが応用されている技術の一つを挙げ、利用されている波長を述べよ。

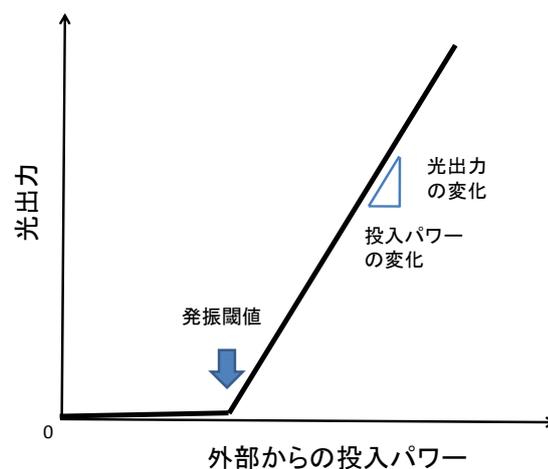


図3 レーザの基本的入出力特性

3. 半導体デバイス及びその作製法について、以下の問いに答えよ。必要があれば図を用いても良い。

【20点】

- (1) 電荷結合デバイス (CCD) の動作とその原理を説明せよ。
- (2) 光リソグラフィ技術の概要、及び半導体デバイス作製における利用例について説明せよ。