

## 平成 21 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. 半導体の基本的性質について、以下の問いに答えよ。

【20点】

- (1) 真性半導体、p型半導体、n型半導体の違いについて説明せよ。また、シリコンを p型、n型にするには、具体的にどのような処理を施せば良いか、それぞれ述べよ。
- (2) 発光デバイスや一部の高周波電子回路では、シリコンではなく化合物半導体（ガリウムヒ素など）が用いられる。その理由をそれぞれ説明せよ。

2. 図 1 (a) のように、金属、絶縁体（厚さ  $d$ ）、p 型半導体からなる理想的な MOS 構造に電圧  $V_G$  を印加する。 $V_G = 0$  のとき、エネルギーバンド図は、図 1 (b) のようになる。ただし、縦軸は電子のエネルギーを表し、 $E_M$  は金属のフェルミ準位、 $E_f$ 、 $E_i$ 、 $E_c$ 、 $E_v$  は、それぞれ、半導体のフェルミ準位、真性準位、伝導帯準位、価電子帯準位である。 $V_G > 0$  にすると、(ア) となり、バンド図が変形する。さらに  $V_G$  を大きくして、半導体界面 ( $x = d$  の近傍) において (イ) が満たされると、反転状態になり半導体界面に (ウ) が発生する。以下の問いに答えよ。

【40点】

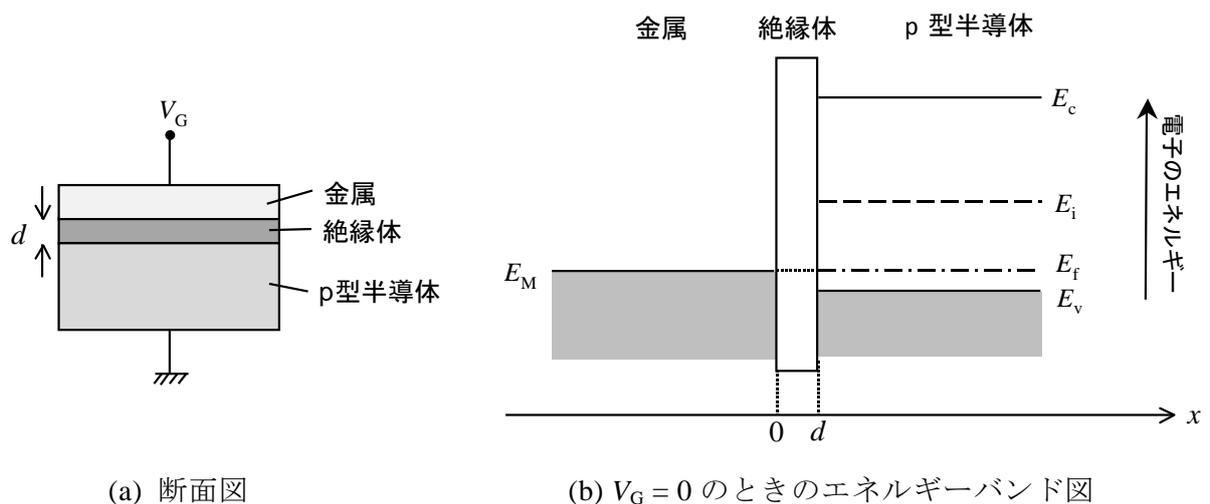


図 1 理想 MOS 構造

- (1) (ア) ~ (ウ) の空欄に入る記述を、次の選択肢からそれぞれ選べ。  
 ①  $E_f < E_M$     ②  $E_f > E_M$     ③  $E_f < E_v$     ④  $E_f > E_i$     ⑤  $E_f > E_c$     ⑥ 電子    ⑦ 正孔
- (2) 反転状態のときのエネルギーバンド図の概形を図 1 (b) にならって図示せよ。
- (3) このとき、空間電荷密度  $Q(x)$ 、電界  $F(x)$ 、電位  $V(x)$  の分布はどのようなになるか。  
 図 2 のフォーマットを答案用紙に書き写して概形を図示せよ。ただし、 $x > d$  において空乏層近似を適用してよい。
- (4) 実際の MOS 構造は、上記の理想的なモデルとは異なる。異なる点を一つ以上挙げて説明せよ。

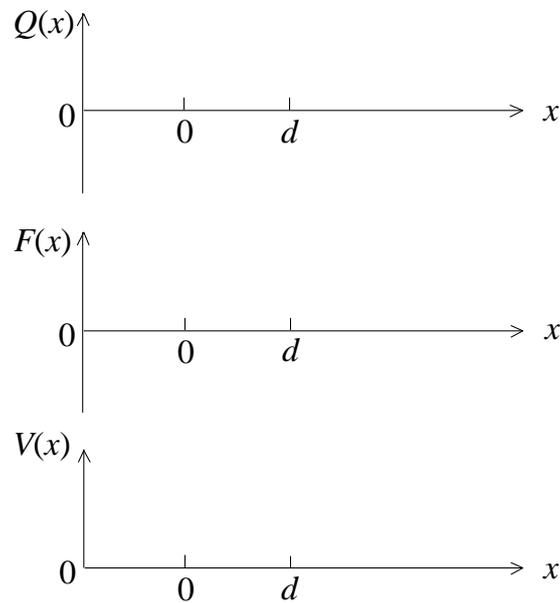


図 2 問題 2 (3) の解答フォーマット

3. 半導体レーザ中のキャリア密度を  $n$ 、光子密度を  $S$  とすると、これらの時間変化は、次のレート方程式により記述される。

$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{q} - g(n - n_0)S - \frac{n}{\tau_n}$$

$$\frac{dS}{dt} = g(n - n_0)S - \frac{S}{\tau_{ph}}$$

ただし、 $J$ は注入電流密度、 $q$ は電荷素量、 $g$ は微分利得係数、 $n_0$ は媒質が透明になるキャリア密度、 $\tau_n$ はキャリア寿命、 $\tau_{ph}$ は光子寿命である。また、簡単のため自然放出光の寄与は無視している。注入電流を  $0$  から徐々に増加させていくときの挙動について、以下の問いに答えよ。

【40点】

- (1) まず、 $J$ が小さく、発振していない場合（すなわち、 $S = 0$ の場合）を考える。定常状態における  $n$  を求めよ。
- (2)  $J$ を発振しきい値  $J_{th}$ 以上に増加すると、 $S \neq 0$ となりレーザ発振状態になる。定常状態における  $n$ と  $S$ を、それぞれ、 $J$ 、 $g$ 、 $n_0$ 、 $\tau_n$ 、 $\tau_{ph}$ 、 $q$ の関数として求めよ。
- (3) 図3のフォーマットを答案用紙に書き写して、 $J$ に対する  $n$ と  $S$ の変化を図示せよ。
- (4) キャリア寿命  $\tau_n$ と光子寿命  $\tau_{ph}$ の値は、半導体レーザのどのようなパラメータによって決定されるか、それぞれ説明せよ。

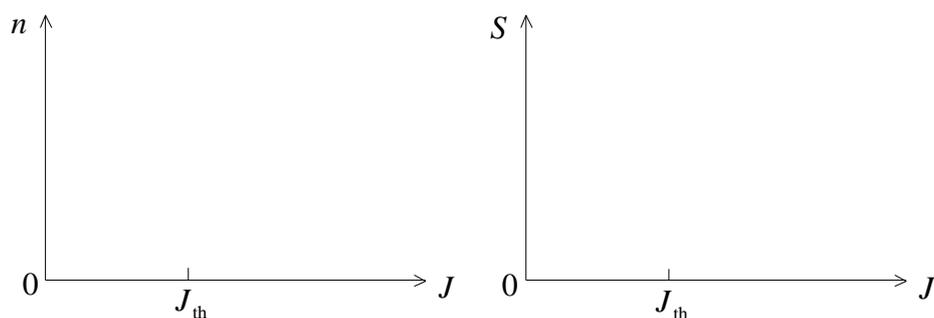


図3 問題3(3)の解答フォーマット