

## 半導体工学Ⅱ試験問題

2011年2月9日 13:00-14:30

■注意：問1を茶色、問2,3,4を緑色の用紙に解答すること。

問1 次の文章を読んで、下の設問に答えよ

アモルファス半導体において、局在準位は伝導帯および価電子帯に付随する裾状態として現れ、電気伝導においては非局在準位との境には明確な(あ)の変化があり、(あ)ギャップが定義できる。アモルファス半導体の直流電気伝導は(い)と(う)の2つの伝導機構で起こる。局在準位の密度が小さい場合は真性半導体と同様に(い)が支配的であり、(あ)よりも(え)の寄与が大きいため、フェルミ準位をよび伝導体の底のエネルギーを $\varepsilon_F$ 、 $\varepsilon_c$ 、ボルツマン定数を $k_B$ とすると、温度 $T$ では直流伝導率(ア)と書ける。これに対し、局在準位の密度が大きいときは、局在準位間を飛び移る(う)の寄与が大きくなる。局在準位の広がりを表すパラメータを $\alpha^{-1}$ 、2つの準位間の距離を $R$ 、2つの準位のエネルギー差を $\Delta\varepsilon$ とすると、伝導率は波動関数の重なり効果と、熱活性過程の2つの相乗効果となり $\sigma \propto \exp[(イ)]$ と書ける。フェルミ準位付近の状態密度を $N(\varepsilon_F)$ とすると、距離 $R$ 、エネルギー範囲 $\Delta\varepsilon$ 内に少なくとも1つはエネルギー準位が存在すると言う条件は(ウ)と書ける。(ウ)を指数因子(イ)に代入して、因子が最大となる距離を求めると $R_{\max}=(エ)$ となる。よって $\sigma \propto \exp\left[-A/T^{1/4}\right]$ という伝導率の温度依存性を導くことができ、このような伝導機構を(お)と呼ぶ。

- (1) 文章中の(あ)～(お)に適切な語句を、(ア)～(エ)に適当な数式をいれよ。
- (2) 一般に、アモルファス半導体では、結晶半導体のような不純物添加による導電形制御が困難である。その理由を2つ示せ。
- (3) アモルファスシリコン太陽電池の結晶シリコン太陽電池に対する長所および短所をそれぞれ2つずつ列挙せよ。

問2 pn接合を利用した発光素子に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 電圧下でのバンド構造を描いて、発光ダイオードの動作原理を説明せよ。
- (2) この発光ダイオードがバンドギャップ  $2\text{ eV}$  の半導体で出来ているとすると、放出される光の波長はいくらであるか。
- (3) 発光強度を高めるための方法を3つ以上挙げて、それぞれについて仕組みを説明せよ。
- (4) この素子をレーザー発振させるためにはどのようなことをすればよいか、半導体レーザーの動作原理に基づいて説明せよ。その際に、「共振器」「コヒーレント」、「反転分布」、「誘導放出」という言葉を用いること。図を用いてもよい。

問3 ゲート長  $L = 2\text{ }\mu\text{m}$ 、ゲート幅  $W = 10\text{ }\mu\text{m}$ 、ゲート酸化膜厚  $t_{\text{ox}} = 8\text{ nm}$ 、反転層電子移動度  $\mu = 300\text{ cm}^2/\text{Vsec}$ 、しきい値電圧  $V_T = 1\text{ V}$  の  $n$  チャネル MOSFET について以下の問いに答えよ。ただし、酸化膜の誘電率  $\epsilon_{\text{ox}} = 3.9 \times 8.9 \times 10^{-14}\text{ F/cm}$ 、素電荷  $e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$  とする。

- (1) 単位面積あたりのゲート酸化膜容量  $C_{\text{ox}}$  を求めよ。
- (2) ソース・ドレイン・基板を接地した上でゲートに  $V_G = 5\text{ V}$  を加え、MOSFET をオン状態とした。このとき、Si 基板の表面近傍には2種類の電荷が誘起されるが、それらは何による電荷か？さらにそのうち自由に動ける電荷の面密度を計算せよ。
- (3) (2) の状態から新たにドレインに微小電圧を加えた。このとき観測されるコンダクタンスを求めよ。
- (4) ドレイン電圧を上昇させるとドレイン電流は飽和する。そのメカニズムについて述べよ。

問4 活性領域で動作している npn バイポーラトランジスタ (ベース層厚  $W_B = 100\text{ nm}$ 、接合断面積  $A = 10^4\text{ }\mu\text{m}^2$ ) について考える。ベース領域内のエミッタ接合側の自由電子濃度が  $n = 2 \times 10^{13}\text{ cm}^{-3}$  であったとき、以下の問いに答えよ。ただし、電子拡散係数  $D_n = 30\text{ cm}^2/\text{sec}$ 、素電荷  $e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$  であり、ベース内部でのキャリア再結合は無視できるものとする。

- (1) エミッターベース-コレクタに沿ったエネルギーバンド図の概形を示せ。さらに図中で自由電子と正孔の流れを矢印で記すこと。
- (2) ベース領域内を流れる電子電流の大きさを求めよ。
- (3) ベースからエミッタに流れる正孔電流の大きさは  $10\text{ }\mu\text{A}$  であったものとする。このとき、エミッタ、ベース、コレクタ各端子電流の値を符号つきで答えよ。ただし、素子に向かって電流が流れ込む向きを電流の正方向と定義する。
- (4) この素子のベース接地電流利得  $\alpha$  とエミッタ接地電流利得  $\beta$  を求めよ。