

試験日	8月 5日 3限	科目	半導体工学・演習	クラス		担当者	松浦 秀治	年次		学生番号		氏名	
-----	----------	----	----------	-----	--	-----	-------	----	--	------	--	----	--

教務課控

年次, 学生番号, 氏名は2箇所記入すること。

平成25年度 前期 試験問題

(1 枚目・ 1 枚中)

大阪電気通信大学

試験日	8月 5日 3限	科目	半導体工学・演習	クラス		担当者	松浦 秀治	年次		学生番号		氏名	
参照・持込等許可条件	A. 一切不可							問題回収	する・しない	解答用紙の別紙使用枚数	1 枚		

解答における注意事項

導き出せと書かれている問題では、必ず答を導き出す過程を詳しく書くこと。

答だけの場合、正解でも零点とする。

答が間違っている場合、導出過程が正しいところまでの点数を加算する。

以下では、価電子帯上端を E_V 、フェルミ準位を E_F 、伝導帯下端を E_C で表すこと。また、 q は電子の電荷の絶対値、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度、 n_i は真性キャリア密度、 ϵ_0 は真空中の誘電率である。

問題1 Si 半導体について考える。

- 1 - 1 どのような元素を入れると p 型半導体になるかを答えよ。
- 1 - 2 その理由を詳細に述べよ。

問題2 p 型半導体について、以下の問いに答えよ。

- 2 - 1 エネルギーバンド図を描け。 E_V 、 E_F 、 E_C の位置を正確に示すこと。
- 2 - 2 エネルギー E でのフェルミ・ディラック分布関数を表せ。
- 2 - 3 電子密度 (n) を、伝導帯の有効状態密度 (N_C) を用いた式で表せ。
- 2 - 4 正孔密度 (p) を、価電子帯の有効状態密度 (N_V) を用いた式で表せ。

問題3 n 型半導体の電子密度の温度依存性のグラフ ($n(T) - 1/T$) を描け。また、それぞれの温度領域の名前をグラフ中に示し、それに対応するエネルギーバンド図を、電子と正孔、およびドナーの電荷の状態を含めて描け。

問題4 p 型半導体のアクセプタ密度を N_A 、アクセプタ準位を E_A とする。

- 4 - 1 アクセプタ準位での電子の占有確率を数式で表せ。
- 4 - 2 中性アクセプタ密度を数式で表せ。
- 4 - 3 負にイオン化したアクセプタ密度を数式で表せ。

問題5 n 型半導体 (仕事関数 ϕ_s 、電子親和力 χ_s) と金属 (仕事関数 ϕ_m) とを接触させる。ただし、 $\phi_m > \phi_s$ とする。

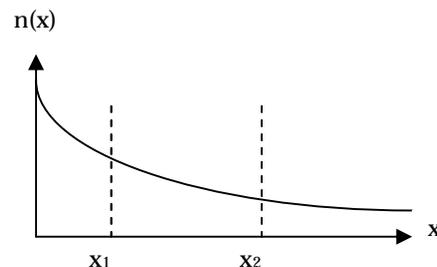
- 5 - 1 接触前の半導体と金属のエネルギーバンド図を示せ。ただし、 ϕ_s 、 χ_s 、 ϕ_m を図中に示すこと。
- 5 - 2 接触後のエネルギーバンド図を示せ。
- 5 - 3 金属側に負の電圧を印加した場合のエネルギーバンド図を示せ。
- 5 - 4 この接触の電流 - 電圧特性を説明せよ。

問題6 n 型半導体のショットキー障壁ダイオードの金属側に電圧 V を印加した時の接合容量を考える。ただし、半導体のドナー密度を N_D 、比誘電率を ϵ_s 、拡散電位を V_d とし、金属側に正電圧を印加した時を $V > 0$ とする。

- 6 - 1 $V < 0$ の時のエネルギーバンド図を描け。
- 6 - 2 空乏層中の電位 $V(x)$ および電界 $E(x)$ を求めるために必要な **方程式** および **境界条件** をすべて示せ。
- 6 - 3 印加電圧 V のときの空乏層幅を **導き出せ**。
- 6 - 4 印加電圧 V のときの接合容量を **導き出せ**。

問題7 pn 接合の電流 - 電圧特性を考える。ただし、エネルギーバンド図には、必ず E_V 、 E_C 、 E_F を示すこと。

- 7 - 1 印加電圧が 0 V のときの pn 接合のエネルギーバンド図を描け。
- 7 - 2 n 側に正電圧を印加したときの pn 接合のエネルギーバンド図を描け。
- 7 - 3 右図に示すように、p 側での電子 (少数キャリア) の拡散について考える。 $n(x)$ は電子密度を示す。



- 7-3-1 電子の移動する方向は、 x が正の方向か負の方向か？
- 7-3-2 電流の流れる方向は、 x が正の方向か負の方向か？
- 7-3-3 点 x_1 と点 x_2 での電子の拡散電流の大きさは、どちらの方が大きい？
- 7-3-4 拡散係数を D_e とし、 $n(x)$ を用いて、電子の拡散電流密度 $J_e(x)$ を表せ。ただし、電流の値が正のとき、電流は x が正の方向に流れる。

- 7 - 4 p 側における定常状態での電子の拡散方程式は

$$D_e \frac{d^2 n(x)}{dx^2} = \frac{n(x) - n_0}{\tau_e}$$

である。ただし、 n_0 は p 側における熱平衡状態での電子密度、 τ_e は電子の寿命、右上図の $x = 0$ が p 側の空乏層端、 $x \geq 0$ を p 層とし、p 層は無限に長いとする。また、p 側に正電圧 V を印加したときの $x = 0$ での電子密度は以下のように与えられる。

$$n(0) = n_0 \exp\left(\frac{qV}{kT}\right)$$

- 7-4-1 pn 接合から十分に離れた p 側の点 (ここでは $x = \infty$) での電子密度 $n(\infty)$ を示せ。
- 7-4-2 これらの境界条件を用いて、p 側 ($x \geq 0$) での電子密度 $n(x)$ を **導き出せ**。
- 7-4-3 p 側での電子による拡散電流密度 $J_e(x)$ を **導き出せ**。
- 7-4-4 p 側 ($x \geq 0$) での $J_e(x)$ の最大値を **導き出せ**。

解答は、解答用紙 1 枚(表、裏)に収まるように書くこと。