

|     |          |    |       |     |  |     |       |    |  |      |  |    |  |
|-----|----------|----|-------|-----|--|-----|-------|----|--|------|--|----|--|
| 試験日 | 2月 3日 2限 | 科目 | 半導体工学 | 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23年度 後期 試験問題

( 1 枚目・ 1 枚中)

大阪電気通信大学

|            |          |    |       |     |  |     |       |      |    |      |             |     |  |
|------------|----------|----|-------|-----|--|-----|-------|------|----|------|-------------|-----|--|
| 試験日        | 2月 3日 2限 | 科目 | 半導体工学 | 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、 $\epsilon_0$  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 n 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 n 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 p 型半導体**の正孔密度の温度依存性のグラフ ( $p(T)-1/T$ ) 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、およびアクセプタの電荷の状態を含めて描け。

**問題4 n 型半導体**のドナー密度を  $N_D$ 、ドナー準位を  $E_D$  とする。

- 4 - 1 ドナー準位での電子の占有確率を数式で表せ。
- 4 - 2 中性ドナー密度を数式で表せ。
- 4 - 3 正にイオン化したドナー密度を数式で表せ。

**問題5 室温での p 型 Si** について考える。ただし、アクセプタ密度を  $N_A$  とし、小問のどちらの密度もエネルギーの記号が含まれない数式で表せ。

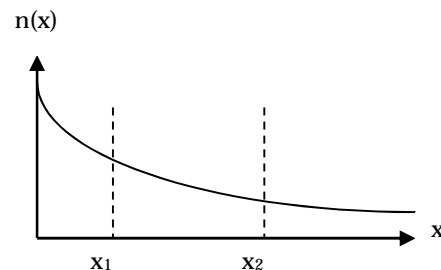
- 5 - 1 正孔密度 ( $p$ ) を数式で表し、そのように表せる理由を述べよ。
- 5 - 2 電子密度 ( $n$ ) を数式で表し、そのように表せる理由を述べよ。
- 5 - 3 多数キャリアを答えよ。

**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  $\epsilon_s$ 、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  $0V$  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、 $\tau_e$  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。**