

(問題1) 次の()の中に適当な語句または数式を記入せよ。

(1) P型半導体において、過剰キャリアが x 方向の密度こう配が $(\partial n / \partial x)$ で、電界 E_x が同時に存在する場合、拡散係数 D_e 、電子の移動度 μ_e 、少数キャリア密度 n とすれば、

電子電流密度の x 方向成分は $J_e = (\text{①}) E_x + (\text{②}) \frac{\partial n}{\partial x}$ と記述できる。

(2) トランジスタの発明には、ベル研究所のバーディーン、ブラッテン、(③) の3名の人物がかかわった。ゲルマニウムではじまった半導体産業は、シリコン材料にとって代わることになるが、これは、安定な保護膜となる(④)が発見されたことによる。現在用いられているシリコンの結晶は、純度が極めて高く、その純度は(⑤)と呼ばれている。現在の半導体製造プロセスにおいて、pn接合の形成には不純物ガスを数十KeV～数MeVに加速してドーピングする(⑥)法が主に使用されている。

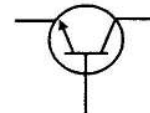
(3) LSI製造において、FeやCuなどの遷移金属の汚染が避けられのは、エネルギーバンドの深い準位に(⑦)をくつりやすいためである。また、半導体表面には、結晶端面のために生じる(⑧)と呼ばれる未結合手が存在し、この密度が低い結晶面を選ぶことも重要となる。特に、異なる半導体材料で構成される(⑨)接合では、格子不整合が生じやすい。

(4) 断面積 S の標的が密度 N で存在している部分を電子が熱速度 v_{th} で飛行している時、平均衝突時間

$1/\tau = (\text{⑩})$ と表せる。また、キャリアの散乱要因となる2つの要因には、高温領域で支配的となる(⑪)による散乱と、キャリアの移動度が温度 T の(⑫)乗に比例する(⑬)散乱がある。

(5) n型Si半導体にアルミニウム (Al) 電極を接触させると整流特性を有する(⑭)接合となる。この時の金属の仕事関数を ϕ_M 、半導体仕事関数を ϕ_s 、半導体の電子親和力を χ_s とすると、この接合障壁の高さは $\phi_{SB} = (\text{⑮})$ と表すことができる

(問題2) 右図の記号のバイポーラトランジスタについて解答しなさい。



(1) トランジスタの無バイアス時とベース接地で動作させるためにバイアスを印加した場合のバンド図を描き、各半導体部分の名称を記入しなさい。

図中には、少なくとも次の記号を記入すること。

(電池、エミッタ、ベース、コレクタ、伝導帯、価電子帯、フェルミ準位)

(2) トランジスタ動作(原理)をキャリアの振る舞いを中心に説明しなさい。

(3) ベース接地電流増幅率を1に近づけるためには到達率やコレクタ係数以外に工夫しなければならない要因は何か、その名称を答え、それを大きくするための方法を2つ述べなさい。

(4) このトランジスタの室温における①注入効率(γ)、②輸送効率(到達率: β)の値を求めなさい。

計算にあたり、以下の数値および近似式を用いなさい。

中性ベース領域幅、キャリアの拡散長が、それぞれ、 $W = 0.5 \mu\text{m}$ 、 $L_p = 10 \mu\text{m}$ 、

ベースとエミッタの抵抗率を $\rho_B = 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ $\rho_E = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ とする。

$$x \ll 1 \quad (1+x)^n \cong 1+nx$$

(問題3) 次の語句について図面を用いて簡単に説明しなさい。

(1) 出払い領域 (2) 2次元電子ガス (3) サイリスタ

(4) 間接遷移型半導体 (5) ツェナー降伏

裏面に続く

(問題4) pnホモ接合について次の(4A)(4B)の設問に解答しなさい。

(4A) 次の()の①～④の中に適当な数式を記入し、⑤は図示しなさい。

イオン化したドナーとアクセプタのみが分布しているpn接合を考える。それぞれの濃度を N_D 、 N_A とする。pn接合部の遷移領域の厚さdを求めるためにはn型及びp型の遷移領域を $X=X_n$ 、 $X=X_p$ 、真空の誘電率を ϵ_0 、

半導体の比誘電率を ϵ_s 、電位を ϕ としてポアソン方程式

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = [\text{①}] \quad (0 \leq x \leq x_n) \quad \text{n型領域}$$

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = [\text{②}] \quad (-x_p \leq x \leq 0) \quad \text{p型領域}$$

を解き、電気的中性条件 [③] を用いると電界 E が求められる。

遷移領域の厚さdは、印加電位(順方向を正)を V_a 、拡散電位を V_D とすると

$$d = x_n + x_p = [\text{④}] \text{と求められる。}$$

この時の電界分布図(E-xの関係)を図示しなさい。 [⑤]

図中に最大電界強度 E_{\max} を記入すること。

(4B) 電子密度 10^{18}cm^{-3} のn型半導体と正孔密度 10^{16}cm^{-3} のp型半導体とでできたシリコンpn接合において、以下の1)～3)の設問に沿って、(⑥)～(⑬)に適当な数値を答え、(⑭)[⑮]には図を示しなさい。

数値を計算する場合は、導出のための式も記入し、求めた数値には単位を明示しなさい。

計算にあたり次の数値を用いるとする。

温度は300K、pn接合の断面積は 1cm^2

$$\begin{aligned} n_i &= 10^{10} (\text{cm}^{-3}) & \text{キャリア寿命: } \tau_n &= 10^{-5} (\text{s}) & \tau_p &= 10^{-5} (\text{s}) \\ \mu_e &= 1000 (\text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}) & \mu_h &= 400 (\text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}) & e &= 1.6 \times 10^{-19} (\text{C}) \end{aligned}$$

1) p型およびn型における、それぞれのフェルミ準位を求めると、 $E_{Fp} = E_{ip} - (\text{⑥})$ 、 $E_{Fn} = E_{in} + (\text{⑦})$ と表すことができる。したがって、熱平衡状態におけるpn接合の拡散電位 $eV_D = (\text{⑧})$ となる。

この熱平衡状態におけるpn接合のバンド図を描き、下記の記号および上記で求めたフェルミ準位と拡散電位の値を図中に記入しなさい。 [⑨] $E_F, E_{ip}, E_{ip}^p, E_{ip}^n, E_{in}, E_{in}^n, E_{in}^p$

2) 電子と正孔の拡散長の値は、それぞれ、 $L_n = (\text{⑩})$ 、 $L_p = (\text{⑪})$ となる。

この接合に順方向バイアス0.52Vを印加した場合の電子電流の値は(⑫)、正孔電流の値は(⑬)となる。

3) 順方向バイアスが印加されている時のバンド図を描きなさい。 [⑭]

更に、電流-電圧特性を図示し、図中に飽和電流密度 J_s を記入しなさい。 [⑮]

必要に応じて、以下の数値を用いてもよい。

$$\sqrt{2.6} = 1.61 \quad \sqrt{26} = 5.1 \quad \sqrt{10} = 3.16 \quad \exp(10) \cong 2.2 \times 10^4 \quad \ln(10) = 2.3$$