

电子科技大学 2021-2022 学年第 2 学期期末考试 A 卷

考试科目: 半导体物理 A 考试形式: 闭卷 考试日期: 2022 年 6 月 日

本试卷由 四 部分构成, 共 8 页。考试时长: 120 分钟 注: 可使用非存储功能的计算器

成绩构成比例: 平时成绩 35 %, 期末 65 %

题号	一	二	三	四	合计
得分					

得 分

一、选择题 (共 30 分, 每空 1 分)

1. Ge 的晶体结构为 (); 下列晶体结构为闪锌矿型的半导体材料为 ()。

A. 金刚石 B. 纤锌矿型 C. 闪锌矿型 D. GaAs E. ZnO

答案: A, D 2

2. () 对应共价键的成键电子。禁带宽度为 () 与 () 之间的能量差, 表示价电子脱离共价键所需的最小能量。

A. 导带电子 B. 价带电子 C. E_t D. E_c E. E_v F. E_D

答案: B, D, E 5

3. 未填满电子的能带 () 导电。空穴是 (), 具有 () 的有效质量。

A. 能 B. 不能 C. 粒子 D. 准粒子 E. 正 F. 负

答案: A, D, E 8

4. 位于 () 附近的能级是有效的复合中心; 而位于 () 附近的能级是有效的陷阱。

A. E_c B. E_v C. E_i D. E_D E. E_F

答案: C, F 10

5. 在 Si 材料中掺入下列 () 杂质, 能够形成 n 型半导体, 其少子为 ()。

A. B B. Ge C. P D. Al 型 E. 空穴 F. 电子

答案: C, E 12

6. 如果需要将一块 p 型半导体变为 n 型导电类型, 应该掺入 () 杂质。

A. p 型 B. n 型

答案: B 13

7. 室温时, 对非简并 p 型半导体, 杂质电离能越 (), 则空穴浓度越低; 在高温本征温度以上, 其空穴浓度由 () 激发的空穴浓度决定。

- A. 小 B. 大 C. 本征 D. 非本征

答案: B, C 15

8. 施主激发发生在能级 () 与 () 之间; 最有效的电子陷阱发生在能级 () 与 () 之间。

- A. E_c B. E_v C. $E_t \approx E_i$ D. $E_t \approx E_F$ E. E_g F. E_D G.

E_A

答案: A, F, A, D 19

9. 对于 p-Si, 在温度从 100K 升高到 500K 的过程中, 多子 () 的浓度基本不变, 而本征载流子浓度随温度升高而 (), 所以, 少子 () 的浓度将随之而 ()。

- A. 电子 B. 空穴 C. 升高 D. 降低 E. 不变

答案: B, C, A, C 23

10. 以下几种 Si 材料中, 电导率最小的是 ()。

- A. $N_D=10^{15} \text{cm}^{-3}$ B. $N_D=10^{17} \text{cm}^{-3}$ C. 本征半导体

答案: C 24

11. Ge 半导体材料中, 载流子的扩散系数与以下 () 因素有关。

- A. 复合机构 B. 掺杂浓度 C. 温度 D. 掺杂类型

答案: B C D 25

12. 以下四种 GaAs 材料, 载流子寿命最长的是 () 材料。

- A. n 型 B. p 型 C. 本征 D. 高度补偿

答案: C 26

13. 以下四种材料中, 功函数最大的是 ()。

- A. $N_A=10^{17} \text{cm}^{-3}$ B. $N_D=10^{17} \text{cm}^{-3}$ C. $N_A=10^{17} \text{cm}^{-3}+N_D=10^{17} \text{cm}^{-3}$ D. 本征半导体

答案: A 27

14. 在不含表面态的中等掺杂 n 型 Si 上制备欧姆电极, 以下四种金属中最合适的是 ()。

- A. $W_{Al} = 4.18 \text{eV}$ B. $W_{Au} = 5.20 \text{eV}$ C. $W_{Pt} = 5.65 \text{eV}$ D. $W_{Cr} = 4.6 \text{eV}$

答案: A 28

15. p 型半导体组成的理想 MIS 结构, 栅电压为零时半导体表面为 (); 栅电压为 $V_i + 2V_B$ 时半导体表面为 ()。(其中 V_i 为绝缘层的压降, V_B 是费米势)

A. 多子积累 B. 平带 C. 耗尽 D. 临界强反型

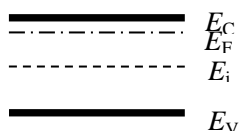
答案: B, D 30

得分

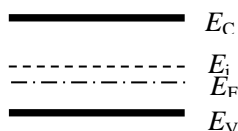
二、简答题 (共 18 分)

1. (9 分) 写出下面带图代表的半导体类型, 掺杂程度。

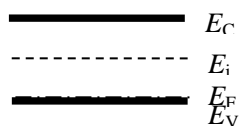
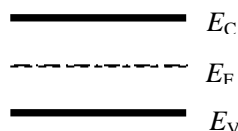
(a) 强 n 型



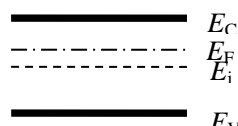
(b) 弱 p 型



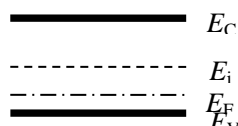
(c) 本征型或高度补偿型



(d) 简并、p 型



(e) 弱 n 型



(f) 强 p 型

图一

(每空各 1.5 分)

2. (9 分) 在 p 型半导体基体上制备出一个 MOS 器件, 其栅结构处为金属-SiO₂-P 型 Si 构成的 MIS 结构, 常温下其阈值电压 V_{th} 的测试值与设计值不一样, 请列举出可能的因素。

答: 常温下影响阈值电压 V_{th} 测试值的因素有:

(1) 栅电极金属与衬底半导体的功函数差或衬底掺杂浓度与设计值不一样; (功函数 W_m , W_s 、或 N_A 的影响) (3 分)

(2) 栅氧化层厚度与设计值不一样; (d_i 的影响) (3 分)

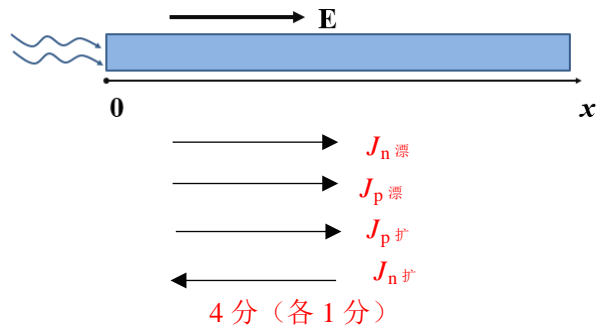
(3) 栅氧化层内或者界面处存在电荷; (Q_i 的影响) (3 分)

得分

三、(共 23 分) 一根半无限长的 n 型 Si 棒, 掺杂浓度为 N_D , 受到指向 x 方向的电场 E 的作用, 在表面 ($x=0$) 处受到恒定光照, 非平衡少子的产生率为 G , 光生载流子向右扩散; 已知载流子寿命为 $\tau = \tau_n = \tau_p$,

载流子迁移率分别为 μ_n 和 μ_p ，扩散系数分别为 D_n 和 D_p ，少数浓度随 x 的变化情况为：

$$(\Delta p)(x) = [(\Delta p)|_{x=0}] \cdot e^{-\frac{x}{\sqrt{D_n \tau}}}$$



图二

在 $x=0$ 处，试求：

- (1) $(\Delta p)|_{x=0}$ 、载流子浓度 n 和 p 的表达式。(4分)
 - (2) 表面处电导率 σ 的表达式。(4分)
 - (3) Si 棒中表面处的漂移电流密度 $J_{漂}$ 的表达式。(4分)
 - (4) Si 棒中表面处的扩散电流密度 $J_{扩}$ 的表达式。(4分) ‘
 - (5) Si 棒中表面处总电流密度 J 的表达式，并在图二中示意标明 4 种电流的方向。(7分)
- 解：

.....
 效.....
 无.....
 题.....
 答.....
 内.....
 以.....
 线.....
 封.....
 密.....

解:

(1)

$$\begin{cases} n_0 \approx N_D & (0.5\text{分}) \\ p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{n_i^2}{N_D} & (0.5\text{分}) \end{cases}$$

$$(\Delta p)|_{x=0} = G\tau \quad (1\text{分})$$

$$\begin{cases} n = n_0 + \Delta n = N_D + [(G\tau)e^{\frac{x}{\sqrt{D_n}\tau}}] = N_D + (G\tau) & (1\text{分}) \\ p = \frac{n_i^2}{n_0} + \Delta p = \frac{n_i^2}{n_0} + [(G\tau)e^{\frac{x}{\sqrt{D_p}\tau}}] = \frac{n_i^2}{N_D} + (G\tau) & (1\text{分}) \end{cases}$$

(2)

$$\sigma = nq\mu_n + pq\mu_p = [N_D + (G\tau)]q\mu_n + \left[\frac{n_i^2}{N_D} + (G\tau)\right]q\mu_p \quad (2\text{分})$$

(3)

$$J_{\text{漂}} = \sigma E = \left\{ [N_D + (G\tau)]q\mu_n + \left[\frac{n_i^2}{N_D} + (G\tau)\right]q\mu_p \right\} E \quad (2\text{分})$$

(4)

$$\begin{cases} \frac{dn}{dx} = -(G\tau) \frac{e^{\left(\frac{x}{\sqrt{D_n}\tau}\right)}}{\sqrt{D_n}\tau} & (1\text{分}) \\ \frac{dp}{dx} = -(G\tau) \frac{e^{\left(\frac{x}{\sqrt{D_p}\tau}\right)}}{\sqrt{D_p}\tau} & (1\text{分}) \end{cases}$$

$$\therefore J_{\text{扩}} = +qD_n \frac{dn}{dx} - qD_p \frac{dp}{dx} = qG\tau \left(-\frac{D_n e^{\left(\frac{x}{\sqrt{D_n}\tau}\right)}}{\sqrt{D_n}\tau} + \frac{D_p e^{\left(\frac{x}{\sqrt{D_p}\tau}\right)}}{\sqrt{D_p}\tau} \right) = qG\tau \left(-\frac{D_n}{\sqrt{D_n}\tau} + \frac{D_p}{\sqrt{D_p}\tau} \right) \quad (1\text{分}) \quad (1\text{分})$$

(5)

$$J = J_{\text{漂}} + J_{\text{扩}}$$

$$= \left\{ [N_D + (G\tau)]q\mu_n + \left[\frac{n_i^2}{N_D} + (G\tau)\right]q\mu_p \right\} E + qG\tau \left(-\frac{D_n}{\sqrt{D_n}\tau} + \frac{D_p}{\sqrt{D_p}\tau} \right) \quad (1.5\text{分}) \quad (1.5\text{分})$$

电流方向如图二所示 (各1分)

得 分

四、综合题

1.(15 分)PtSi 肖特基二极管在 $T=300\text{K}$ 时生长在掺杂浓度为 $N_D=10^{16}\text{cm}^{-3}$ 的 n 型 $\langle 100 \rangle \text{Si}$ 上。肖特基势垒高度为 0.89eV 。已知: $N_c=2.8 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, $k_0T=0.026\text{eV}$, $A^*=2.1 \times 120\text{A}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2)$, $\ln(2800)=7.937$, $\exp(-34.2308)=1.361 \times 10^{-15}$, $\ln(64724920)=17.986$, $\chi_{\text{Si}}=4.05\text{eV}$ 。试计算:

- (1) 半导体的功函数 W_s 。(3 分)
- (2) 半导体一侧的势垒高度 qV_D 。(3 分)
- (3) 理想情况下的反向饱和 J_{ST} 。(3 分)
- (4) 使 $J=2\text{A}/\text{cm}^2$ 时的外加偏压 V , 同时画出该偏压下的能带图 (要求在图中标出半导体一侧的势垒高度和金属一侧的势垒高度)。(6 分)

解: (1)

$$1) n_0 = N_D = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{k_0T}\right) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\Rightarrow E_c - E_F = 0.026 \times \ln \frac{2.8 \times 10^{19}}{10^{16}} = 0.206\text{eV}$$

$$W_s = \chi_{\text{Si}} + E_c - E_F = 4.05 + 0.206 = 4.256\text{eV}$$

$$(1 \text{ 分}) \quad (0.5 \text{ 分}) \quad (0.5 \text{ 分})$$

$$(2) \quad qV_D = q\phi_{ns} - E_n = 0.89 - 0.206 = 0.684\text{eV}$$

$$(2 \text{ 分}) \quad (0.5 \text{ 分}) \quad (0.5 \text{ 分})$$

(3)

$$J_{ST} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{ns}}{k_0T}\right) \quad (2 \text{ 分} + 1 \text{ 分})$$

$$= 2.1 \times 120 \times 300^2 \exp\left(-\frac{0.89}{0.026}\right) = 3.09 \times 10^{-8} \text{ A} / \text{cm}^2$$

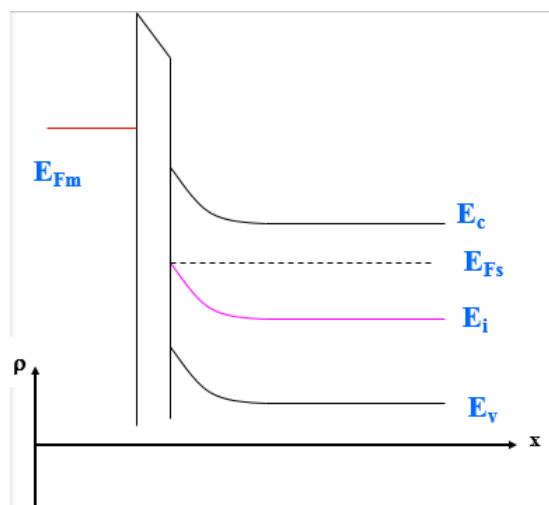
(4)

$$J = J_{ST} \left[\exp\left(\frac{qV}{k_0T}\right) - 1 \right] \Rightarrow V = \frac{k_0T}{q} \ln\left(\frac{J}{J_{ST}} + 1\right) \quad (2 \text{ 分} + 1 \text{ 分})$$

$$= 0.026 \times \ln\left(\frac{2}{3.09 \times 10^{-8}} + 1\right) = 0.467V$$

能带图（略）（3 分）

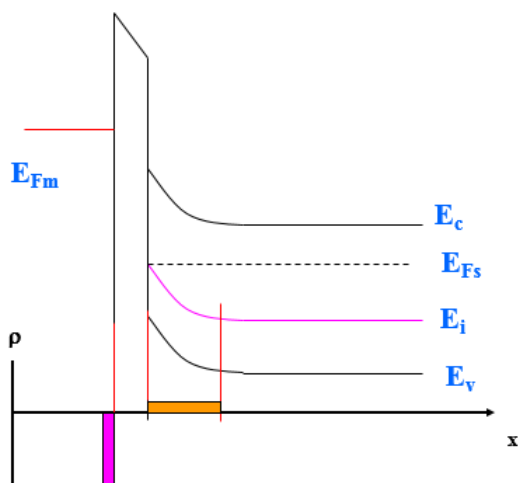
2. T=300 K 下，理想 MOS 电容，所施加的栅极偏压使得能带弯曲所施加的栅极偏压使得能带弯曲（如图三所示），在 Si-SiO₂ 界面 $E_{Fs}=E_i$ 。Si 的电子亲合势为 4.0 eV。利用耗尽近似，回答下列问题：（4+4+6=14 分）



图三

1. 半导体表面处于什么状态？绘出与该能带图对应的定性电荷块图。（4 分）

解：半导体表面处于表面耗尽或临界反型。（2 分）



(1 分) (1 分)

2. 求出该 MIS 结构临界强反型时半导体的表面势 V_s ? (4 分)

解:

$$V_s = 2(E_i - E_{Fs}) = 2 V_B = 2 \times (-0.29) = -0.58 \text{ (V)}$$

(2 分)

(1 分) (1 分)

3. 如果绝缘层中存在正电荷, 画出该 MIS 结构的高频、低频和深耗尽的 C-V 曲线 (要求同时画出理想的高频、低频和深耗尽的 C-V 曲线)。 (6 分)

图略(C-V 曲线相对于理想曲线向负栅压方向平移)

共 6 分, 每条 CV 各 1 分。