

# 东南大学考研复习卷(D 卷)

课程名称 半导体物理 929 编辑时间 2013-1 得分  
适用专业 电子科学与技术 考试形式 闭卷 考试时间长度 180 分钟

室温下  $k_0T = 0.026eV$  , 电子电量  $e = 1.6 \times 10^{-19}C$  。

## 一、 填空题 (每空 1 分, 共 35 分)

1. 常规掺杂一般是为了调节半导体的导电性, 根据要求掺杂不同浓度和不同类型的杂质, 可以有效地控制半导体的导电类型和载流子的浓度。特殊掺杂一般是为了特殊的目的, 而不是调制导电性。深能级杂质与浅能级杂质相比, 不能显著调制半导体的导电性, 其原因是\_\_\_\_\_。我们进行深能级杂质掺杂一般是为了\_\_\_\_\_; 浅能级杂质的重掺杂的目的是\_\_\_\_\_。
2. 高掺杂时, 杂质原子之间距离较短, 施主能级不再由离散的、相互之间没有作用的能态形成。相反, 施主能态构成能带, 能带可能和导带底重叠。如果导带电子浓度超过有效能态密度  $N_C$ , 费米能级将不再处于带隙之间, 而位于导带内。当这种情况发生时, 半导体材料称为简并\_\_\_\_\_型半导体材料。类似地, 当受主杂质的浓度非常高时, 费米能级位于价带内, 这种半导体材料称为简并\_\_\_\_\_型半导体材料。在简并 N 型半导体材料中,  $E_C$  和  $E_F$  之间的区域大多数被\_\_\_\_\_填充, 而在简并 P 型半导体材料中,  $E_V$  和  $E_F$  之间的区域大多数被\_\_\_\_\_填充。
3. 决定迁移率的参数是有效质量和平均自由时间。有效质量是关于能带结构的一个重要性质。有效质量是将晶体中\_\_\_\_\_作用概括在其中, 有效质量的引入, 使得处理晶体中的电子在\_\_\_\_\_问题时忽略难以确定的晶格力, 使问题简单化。对于 GaAs, 导带底附近的曲率很大, 因此导带电子的有效质量很小。有效质量增大, 迁移率\_\_\_\_\_ (“增加” 或 “减小”)。决定迁移率的另外一个重要因素是连续碰撞间的平均自由时间, 它主要与\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_有关。
4. 室温下半导体硅中掺入某种杂质, 其电子浓度为  $1.5 \times 10^{17}cm^{-3}$ , 硅的本征载流子浓度  $n_i = 1.5 \times 10^{10}cm^{-3}$ , 费米能级与禁带中央差为\_\_\_\_\_。掺入施主杂质  $5 \times 10^{16}cm^{-3}$  后, 费米能级将\_\_\_\_\_ (填 “上升”、“下降” 或 “不变”), 半导体硅中的电离杂质中心浓度为\_\_\_\_\_。
5. 在较大的反偏下, PN 结会发生击穿, 这主要是因为重掺杂窄耗尽区层的 PN 结内发生了\_\_\_\_\_效应或者是轻掺杂器件中载流子的\_\_\_\_\_效应。对于空间电荷区很窄的二极管, 还可能发生从一个欧姆接触到另一个欧姆接触的穿通效应。
6. 半导体中的主要散射机制包括晶格振动散射、电离杂质散射、能谷之间的散射、压电散射、中性杂质散射和载流子间的散射等, 其中最重要的两种是由\_\_\_\_\_引起的晶格振动散射和由\_\_\_\_\_引起的电离杂质散射。如果半导体晶格振动散射概

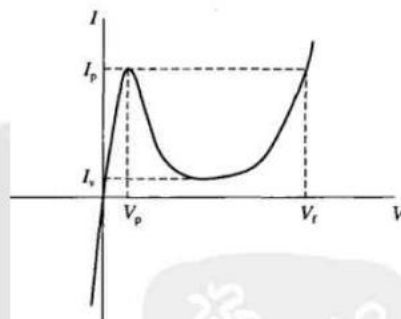
率为  $P_i$ ，仅由电离杂质散射决定的平均自由时间为  $\tau_i$ ，其他散射概率和为  $P_o$ ，则载流子的平均自由时间为\_\_\_\_\_。

7. 电流连续性方程:  $\frac{\partial p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - p\mu_p \frac{d\varepsilon}{dx} - \varepsilon\mu_p \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + g_p$ 。若均匀掺杂的  $n$  型半导

体表面光照恒定，且  $g_p = 0$ ，电场是均匀的，连续性方程简化为\_\_\_\_\_；若光照在均匀掺杂  $n$  型半导体，半导体内部均匀产生非平衡载流子，且没有外加电场，则连续性方程简化为\_\_\_\_\_。

8. 室温下半导体材料硅中电子迁移率  $\mu_n = 1350 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，当施主杂质浓度为  $10^{17} \text{cm}^{-3}$  时，电子的迁移率则减小到  $700 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，其原因是\_\_\_\_\_，掺杂后的电导率为\_\_\_\_\_。

9. 隧道二极管的整个伏安特性曲线如图所示，成 N 字形，因此这一特性通常称为 N 形负阻，它表示当电压达到某一临界点时，电流急剧下降。利用隧道二极管的负阻特性可以形成\_\_\_\_\_电路。由于\_\_\_\_\_，隧道二极管成为一些高速电路的自然选择。和其他器件相比，隧道二极管的工作电路相对\_\_\_\_\_ (填“较高”、“较低”)。



10. 在半导体器件中，存储电荷是偏压的函数，而小信号电容又是由电荷变化导致的。在 PN 结中有两种电容：\_\_\_\_\_，与耗尽区内掺杂导致的电荷有关（反偏时占主导）；\_\_\_\_\_，与中性区内过剩载流子导致的电荷有关（正偏时占主导）。
11. 在半导体样品的某区域中，我们测得电场方向从左到右，载流子浓度从右到左逐渐增加。在该区域内空穴的扩散方向为\_\_\_\_\_，电子的漂移方向为\_\_\_\_\_。
12. 电子在晶体中的\_\_\_\_\_运动指的是电子不再完全局限在某一个原子上，而是可以从晶胞中某一点自由地运动到其他晶胞内的对应点，因而在电子可以在整个晶体中运动。
13. 一块半导体非平衡载流子的寿命  $\tau = 1.5 \mu\text{s}$ ，光照在材料上产生非平衡载流子，光照突然停止  $3 \mu\text{s}$  后，其中非平衡载流子将衰减为原来的\_\_\_\_\_。
14. 掺杂浓度为  $N_D = 10^{16} \text{cm}^{-3}$  的  $n$  型单晶硅材料和金属 Au 接触，忽略表面态的影响。硅的电子亲和能  $\chi = 4.05 \text{eV}$ ， $N_C = 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，硅的禁带宽度  $E_g = 1.12 \text{eV}$ ，金的功函数为  $5.20 \text{eV}$ ，半导体的功函数为\_\_\_\_\_，接触类型为\_\_\_\_\_。

## 二、 简答题（共 72 分）

1.(10分) 阐述平衡 PN 结形成的物理过程，指出势垒区载流子的扩散和漂移方向。

2.(10分) 比较 PN 结的理想伏安特性与实际伏安特性的区别，并定性分析原因。

3.(12分) 何谓漂移运动？何谓扩散运动？何谓迁移率、扩散系数？

4.(12分) 简述常见掺杂半导体中两种主要散射机制，并说明温度及掺杂浓度对这两种散射机制的影响和原因。

5.(16分) 某种半导体与金属接触。

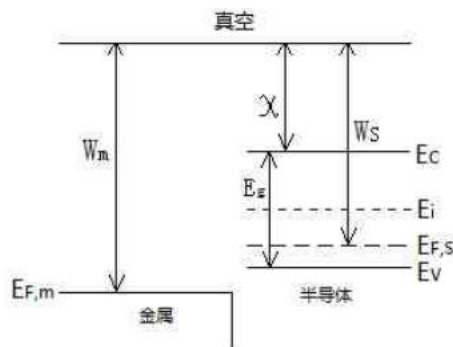
(1) 解释欧姆接触和整流接触特性；

(2)  $n$  型半导体与金属形成整流接触，画出接触后的能带图，解释接触后能带的形成过程；

(3) 为什么金-半二极管（肖特基二极管）消除了载流子注入后的存储时间？

(4) 实际欧姆接触面临什么问题，怎样解决的？

(5) 右图是金属和轻掺杂半导体的能带图，画出接触后的能带图，包括费米能级、在金属半导体界面处通过  $W_m$ 、 $W_s$ 、 $\chi$  或者  $E_g$  表示出的价带偏移量和导带偏移量以及其他能带弯曲，定性指出电荷耗尽区和积累区（设不存在界面缺陷），这是一个肖特基接触还是欧姆接触？



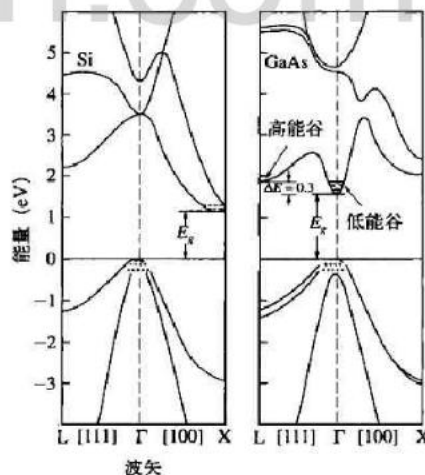
6.(12分) 下图是半导体材料 Si 和 GaAs 的能带结构示意图。

(1) 哪种材料有最小的导带电子有效质量，Si 还是 GaAs？忽略两种材料的散射率差异性，你认为 Si 或 GaAs 有最大的电子迁移率  $\mu_n$ ？

(2) 通过电子-空穴对的复合，你认为哪一种材料能更佳有效地产生光子(光)？说明原因。

(3) Si 和 GaAs 分别有多少个等价导带极小值？

(4) 若对分别处在导带极小值的电子在 [100] 晶向上施加一短时间相同的恒力作用，忽略散射作用，与 GaAs 的波矢  $k$  的改变幅度相比，Si 的波矢  $k$  的改变幅度更大、相同还是更小？为什么？



### 三、 计算题 (共 43 分)

1. (13分) 一块补偿性硅材料, 掺入受主杂质浓度  $N_A=1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ , 室温下测得其费米能级位置恰好与施主能级重合, 并测得热平衡时电子浓度为  $n_0=5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。已知室温下本征载流子浓度为  $n_i=1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 。

- (1) 半导体是  $n$  型还是  $p$  型? 说明理由;
- (2) 掺入材料中施主杂质浓度为多少?
- (3) 电离杂质中心浓度为多少?
- (4) 中性杂质散射中心浓度为多少?

2. (15分) 硅的禁带宽度  $E_g=1.12 \text{ eV}$ , 本征载流子浓度  $n_i=1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 。半导体硅均匀掺入浓度为  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  的施主杂质, 光照该半导体,  $t=0$  时光照开始并被均匀吸收, 半导体中均匀产生非平衡载流子, 产生率为  $G_{op}=10^{15} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ , 空穴寿命为  $\tau_p=5 \mu\text{s}$ , 无外场作用。电子迁移率为  $\mu_n=1350 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ , 空穴迁移率为  $\mu_p=480 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 。

(提示: 非平衡载流子的连续性方程为  $\frac{\partial p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - p\mu_p \frac{d\varepsilon}{dx} - \varepsilon\mu_p \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + g_p$ )

- (1) 求非平衡载流子空穴的扩散系数及半导体非平衡载流子的浓度与时间的关系;
- (2) 在  $t=t_1$  时刻, 光照达到稳定, 问光注入是否满足“小注入”条件? 说明理由;
- (3) 在  $t=t_2(t_2 > t_1)$  时刻, 撤去光照, 经过多久半导体非平衡载流子的浓度为  $10^9 \text{ cm}^{-3}$ ?
- (4) 求光照稳定时半导体的附加电导率及半导体准费米能级之差。

3. (15分) 金是一种常用的深能级杂质, 金在硅中的施主能级在价带顶上方  $0.35 \text{ eV}$  处, 受主能级在导带底带下方  $0.54 \text{ eV}$  处。硅的禁带宽度  $E_g=1.12 \text{ eV}$ , 本征硅中掺入一定量的深能级杂质金。已知室温下, 硅的本征载流子浓度  $n_i=1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ , 导带有效状态密度  $N_C=2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , 价带有效状态密度  $N_V=1.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。

- 解释深能级杂质和浅能级杂质这两个概念;
- 在硅中均匀地掺入某种杂质(全部电离), 金在硅中的施主能级被空穴占据的几率为  $1/2$ , 判断杂质是施主杂质还是受主杂质? 说明原因;
- 在硅中又掺入一定浓度的杂质使费米能级位于价带顶  $E_V$  上方  $0.28 \text{ eV}$  处, 求第二次掺杂的掺杂浓度并解释说明此时金的带电状态;
- 若半导体硅的费米能级位于价带顶  $E_V$  上方  $0.13 \text{ eV}$  处, 小注入条件下, 画出复合中心位置与能带图, 并化简非平衡载流子的寿命; 复合中心浓度  $N_t=10^{10} \text{ cm}^{-3}$ , 半导体载流子俘获系数  $c_x=2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{s}$  ( $x$  为  $n$  或  $p$ ), 求非平衡载流子的寿命  $\tau$ 。

(提示: 小注入条件下间接复合作用非平衡载流子的寿命  $\tau = \frac{c_n(n_0 + n_i) + c_p(p_0 + p_i)}{N_t c_n c_p (n_0 + p_0)}$ )