

# 东南大学考研复习卷(A 卷)

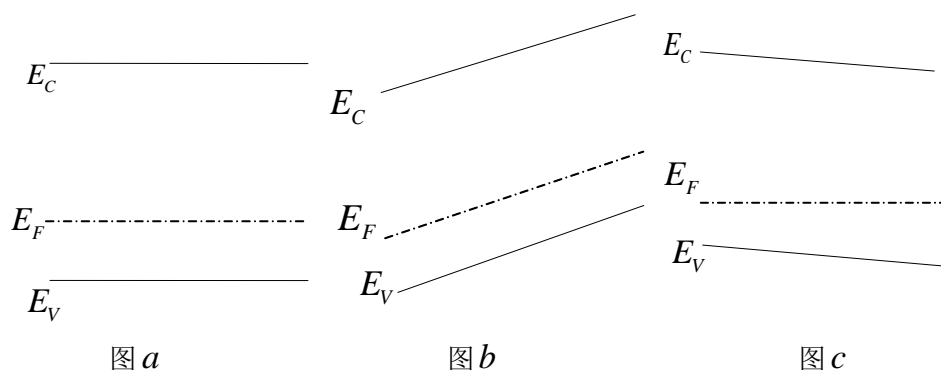
课程名称 半导体物理 929 编辑时间 2013-1 得分 \_\_\_\_\_  
适用专业 电子科学与技术 考试形式 闭卷 考试时间长度 180 分钟

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. 硅原子作为杂质原子掺入砷化镓样品中，设杂质浓度为  $10^{15} cm^{-3}$ ，其中 10% 硅原子取代砷，90% 硅原子取代镓，如果硅原子全部电离，本征激发可忽略不计。则该半导体为 \_\_\_\_\_ 型半导体，10% 硅原子取代砷的这些硅相当于 \_\_\_\_\_ 杂质。
2. 半导体中掺杂浓度很高时，杂质电离能 \_\_\_\_\_ （填“增大、减小、不变”）；在重掺杂的简并半导体中，杂质浓度很高，杂质原子相互靠近，被杂质原子束缚的电子的波函数显著重叠，这时电子作共有化运动，产生的结果是 \_\_\_\_\_ 。如果掺杂浓度过高，杂质能带会进入导带或者价带，能带状态密度发生变化，产生 \_\_\_\_\_ 效应。
3. 间接复合作用下的非平衡载流子的寿命  $\tau = \frac{c_n(n_0 + n_l + \Delta n) + c_p(p_0 + p_l + \Delta p)}{N_t c_n c_p (n_0 + p_0 + \Delta p)}$ ，式中  $n_l$  代表 \_\_\_\_\_ 。已知半导体禁带宽度  $E_g = 1.35eV$ ，小注入条件下，复合中心能级  $E_t$  在导带下方  $0.12eV$ ，费米能级在价带顶上方  $0.31eV$ ，则非平衡载流子的寿命可简化为 \_\_\_\_\_ 。
4. 迁移率表示单位场强下载流子的平均漂移速度。影响半导体的载流子迁移率主要有两大因素，一个是 \_\_\_\_\_，另一个是通过 \_\_\_\_\_ 来影响平均自由时间。
5. 电中性是内建电场产生的原因。只要破坏了电中性，就会产生扩散与漂移电流并存的情形，除了载流子浓度不均匀，\_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 也会导致内建电场。
6. 影响  $pn$  结内建电势差  $V_D$  的因素有 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 等参数，在相同条件下半导体材料 Si、Ge 和 GaAs 中 \_\_\_\_\_ 的内建电势差  $V_D$  最大。

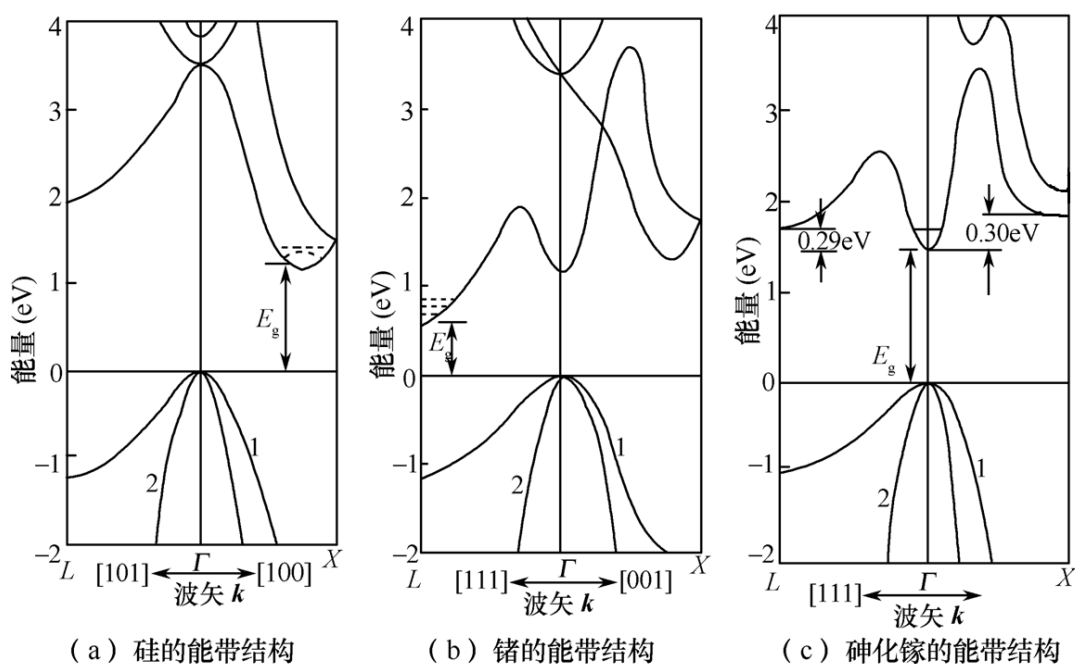
7. 制造晶体管一般是在高杂质浓度的  $n$  型衬底上外延一层  $n$  型的外延层，再在外延层中扩散硼、磷而成。 $n$  型硅单晶衬底是掺锑的，锑的电离能为  $0.039\text{eV}$ ，室温下时的  $E_F$  位于导带下方  $0.026\text{eV}$  处，半导体的状态为 \_\_\_\_\_（填“简并”，“弱简并”或“非简并”），判断的依据为 \_\_\_\_\_。
8. 强电场效应会使半导体器件的载流子速度达到饱和，还可能使载流子成为热载流子，影响器件性能。半导体器件的热载流子由于具备高能量，常常会导致载流子 \_\_\_\_\_；热载流子可与晶格发生碰撞电离，利用这一原理可以制备 \_\_\_\_\_ 器件。
9. 早期锗硅等半导体材料常利用测其电阻率的办法来估计纯度，室温下较纯 Ge 样品的电子迁移率  $\mu_n = 3900\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，锗原子密度  $\rho = 4.42 \times 10^{22}\text{cm}^{-3}$ ，若测得室温下电阻率为  $10\Omega\cdot\text{cm}$ ，则利用此方法测得  $n$  型锗的掺杂浓度为 \_\_\_\_\_，这种测量方法来估计纯度的局限性是 \_\_\_\_\_。
10. 金属的费米能级位于导带之上， $n$  型半导体与金属接触形成整流接触，那么半导体与金属的功函数哪个大？\_\_\_\_\_。由于半导体与金属之间存在整体载流子水平差异，所以会产生载流子（电子）的扩散，形成内建电场；内建电场几乎全部建立在半导体一侧的原因是\_\_\_\_\_。具有整流接触的金-半接触称为肖特基接触，肖特基结相比普通  $pn$  结，在高频高速器件具有更重要的作用，其原因在于肖特基接触不存在电荷存储现象。肖特基接触不存在电荷存储现象的原因是\_\_\_\_\_。制造  $pn$  结可选用的技术主要有合金、扩散、外延生长、\_\_\_\_\_等，用掺杂制作  $pn$  结克服了金-半接触的一大缺点：\_\_\_\_\_。
11. 下图是  $p$  型半导体的能带图。三图中哪些图表明半导体存在电流？\_\_\_\_\_。图  $b$  中电子的运动方向为 \_\_\_\_\_（填“向左”或“向右”）；图  $c$  左边与右边哪边电势高？\_\_\_\_\_，空穴的扩散方向为 \_\_\_\_\_（填“向左”或“向右”）。



12. 非平衡载流子通过 \_\_\_\_\_ 作用而消失, 非平衡载流子的 \_\_\_\_\_ 叫做寿命  $\tau$ , 寿命  $\tau$  与 \_\_\_\_\_ 在 \_\_\_\_\_ 中的位置密切相关。对于  $p$  型半导体, 本征载流子浓度为  $n_i$ , 电子浓度为  $n_0$ , 复合系数为  $r$ , 忽略间接复合, 小注入条件下由直接复合决定的非平衡载流子寿命  $\tau$  约为 \_\_\_\_\_。

## 二、 简答题 (共 72 分)

1.(14分) 下图分别是半导体材料 Si、Ge 和 GaAs 的能带结构示意图。



- (1) Si、Ge 为间接带隙半导体, GaAs 为直接带隙半导体, 判断的依据是什么? 直接带隙半导体相对于间接带隙半导体具有什么优势?
- (2) GaAs 导带不止一个极小值(能谷), 在[111]方向布里渊区边界  $L$  处还有一个极小值, 有效质量为  $0.55m_0$ 。 $L$  处的能量极小值比布里渊区中心处的仅高  $0.29\text{eV}$ , GaAs 这两个能量接近的能谷使其电学特性有别于 Si 和 Ge, 试解释说明这种区别。
- (3) Si、Ge 和 GaAs 导带底的电子有效质量是张量还是标量, 判断的依据是什么?

2.(10分) 硅  $pn$  结  $p$  区掺杂浓度远小于  $n$  区掺杂浓度，在小注入条件下，分析在偏压下电子和空穴在中性区、扩散区和势垒区中的运动情况（漂移和扩散的方向及相对大小）。

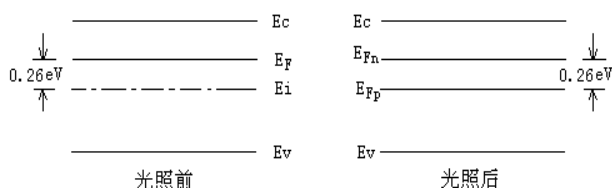
3.(12分)  $pn$  结击穿主要有哪些？说明各种击穿产生的原因和条件，并分析影响它们的主要因素。

4.(12分) 半导体中有几种导电粒子，各有什么特性？何谓电中性？

5.(10分) 何为扩散电容和势垒电容？为什么大的正偏电压以扩散电容为主，反向偏压下以势垒电容为主？

6.(14分) 一个半导体棒，光照前处于热平衡态，光照后处于稳定态，分别由下图给出的能带图来描述。设室温时的本征载流子浓度  $n_i = 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 。

- (1) 解释说明热平衡态、非平衡态和稳态三个概念；
- (2) 当棒被光照射时，“小注入”条件成立吗？试说明理由；
- (3) 恒定光照在半导体棒上，非平衡载流子的产生率  $G_{op} = 4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，求撤去光照  $5 \mu\text{s}$  时准费米能级之间的差。



### 三、 计算题（共 43 分）

1.(13分) 单晶硅中均匀地掺入两种杂质：掺硼  $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，掺磷  $5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 。室温下：  $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ,  $\mu_p = 480 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ,  $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_c = 2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_v = 1.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ； 600K 时：  $n_i = 6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 。

- (1) 求室温下费米能级位置及电导率；
- (2) 求 600K 下载流子浓度。

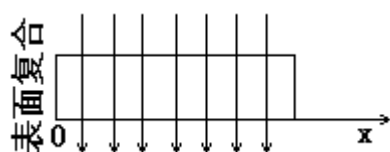
2.(15分) 如果稳定光照射在一块均匀掺杂的  $n$  型半导体中均匀产生非平衡载流子, 产生率为  $G_{op} = 3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ , 且无外场作用, 空穴迁移率  $\mu_p = 430 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ ,  $\tau_p = 5 \mu\text{s}$ , 半导体的长度远远大于空穴的扩散长度, 如图所示。假设样品左侧存在表面复合, 表面复合率为  $U_s = 7.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 比例系数(表面复合速度)为  $s$ 。

(1) 求比例系数  $s$ ;

(2) 什么位置时非平衡载流子的浓度为  $1.25 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ ?

(提示: 非平衡载流子的复合只是在表面非常薄的一层内发生, 所以非平衡载流子的表面复合率只是以边界条件出现:  $U_s = D_p \frac{d\Delta p}{dx} \Big|_{x=0}$ , 非平衡载流子的连续性方程为

$$\frac{\partial p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - p\mu_p \frac{d\varepsilon}{dx} - \varepsilon\mu_p \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + g_p)$$



3.(15分)下表列出了T=300K下Si和Ge的相关系数:

各项参数	$m_t$	$m_l$	$(m_p)_h$	$(m_p)_l$	$m_{dn}$	$m_{dp}$	$E_g(eV)$
Si	$0.197m_0$	$0.92m_0$	$0.49m_0$	$0.16m_0$		$0.55m_0$	1.12
Ge	$0.082m_0$	$1.64m_0$	$0.28m_0$	$0.044m_0$	$0.56m_0$		0.67

- (1) 计算并补充完表格;
- (2) 已知室温下(T=300K) Ge的 $N_C = 1.05 \times 10^{19} cm^{-3}$ 、 $N_V = 3.9 \times 10^{18} cm^{-3}$ , 求室温下Ge的本征载流子浓度;
- (3) 解释说明有效质量、状态密度有效质量和电导有效质量这三个概念;
- (4) 证明Si沿[010]方向的电导有效质量 $m_c$ 满足 $\frac{1}{m_c} = \frac{1}{3}(\frac{2}{m_t} + \frac{1}{m_l})$ 。