

北京化工大学 2007——2008 学年第一学期

《半导体物理学》期末考试试卷 A

课程代码	P	H	Y	4	3	2	0	T
------	---	---	---	---	---	---	---	---

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 分数：_____

题号	一	二	三	四	总分
得分					

一、 填空题（每空 2 分，共 30 分）

- Si 和 Ge 的导带中，等能面是旋转椭球面，根据回旋共振实验结果得到，Si 的导带极小值位于布里渊区的 [100] 方向上，而 Ge 的导带极小值位于布里渊区的 [111] 方向上。
- 按照半导体中杂质原子在半导体晶体中所处的位置，半导体中的杂质可以分为 间隙式杂质 和 替位式杂质 两种。
- 浅能级杂质的电离能可以用类氢模型计算，设 Ge 的电子有效质量为 $0.12m_0$ ，相对介电常数为 16，则 Ge 中施主杂质的电离能为 0.0064 eV。
- 室温下， $k_0T/q=0.025V$ ，已知 Si 的电子迁移率为 $1400\text{cm}^2/(V\cdot S)$ ，则该材料中的电子扩散系数为 $35\text{cm}^2/s$ 。
- 如果价带中的电子满足玻耳兹曼分布，则价带中的空穴浓度表达式为 $N_v \exp[(E_v - E_F)/k_0T]$ ；室温时，半导体 Si 中掺入 Al，掺杂浓度为 N_A ，Al 已基本全部电离，在此条件下，该半导体的电中性条件为 $p_0 = N_A$ ；费米能级为 $E_F = E_v - k_0T \ln \frac{N_A}{N_v}$ 。
- 电阻率为 $5.0\Omega\cdot\text{cm}$ 的 n 型 Si，其载流子浓度为 10^{15}cm^{-3} ，则其电子迁移率为 $1250\text{cm}^2/(V\cdot S)$ 。
- pn 结电容有两个来源，根据其来源，分别是，势垒电容 和 扩散电容。
- pn 结加反向偏压时，流过 pn 结的电流比由扩散理论得到的理论值要大，而且随反向偏压的增加而缓慢增加，除扩散电流外，该电流还包括 势垒区的产生电流。
- n 型 Si 掺杂浓度为 10^{15}cm^{-3} ，其功函数为 4.31eV，电子亲和势为 4.15eV，镍的功函数为 4.50eV，则镍与该 n 型 Si 紧密接触后，半导体一边的电子势垒高度为 0.19 eV，金属一边的电子势垒高度为 0.35 eV。

二、简答题（每题 5 分，共 20 分）

1. 说明长声学波对载流子产生散射的机制。

长纵声学波传播时引起原子分布的疏密变化，在一个波长内，一半处于压缩状态，一半处于膨胀状态。而禁带宽度随原子间距而变化，疏处禁带宽度变小，密处变大。禁带宽度的改变反映出导带底和价带顶的升高或降低，这时同处于导带底或价带顶的电子或空穴，在半导体的不同地点，其能量就有差别。所以，纵波引起的能带起伏，就其对载流子的作用来讲，如同产生了一个附加的势场，这一势场破坏了原来势场的严格周期性，对载流子产生散射。

2. 何为间接复合？并说明间接复合的四个过程。

间接复合是非平衡载流子通过禁带中的复合中心的复合。 具体的四个过程为：

复合中心俘获导带中的电子；

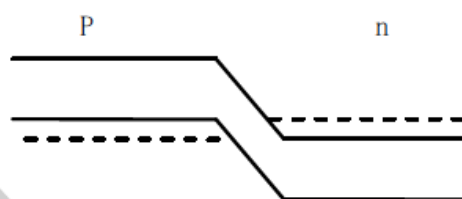
复合中心向导带发射电子；

复合中心俘获价带的空穴；

复合中心向价带发射空穴。

3. 画图说明隧道二极管的正向电流电压特性，并给出解释。

对于两边都是重掺杂的 pn 结，n 型半导体的费米能级进入了导带，p 型半导体的费米能级进入了价带。当加一较小的正向电压时，n 区能带相对 p 区升高 qV ，这时结两边能量相等的量子态中，p 区价带的费米能级以上有空的量子态，而 n 区导带费米能级以下有量子态被电子占据，并且两边都是重掺杂的 pn 结势垒区很薄，n 区的电子可以隧穿进入 p 区，形成电流。当 n 区导带底与 p 区的费米能级持平，电流达到最大，之后随电压升高，两边能量相等的量子态数目减少，电流减小，产生负阻特性。

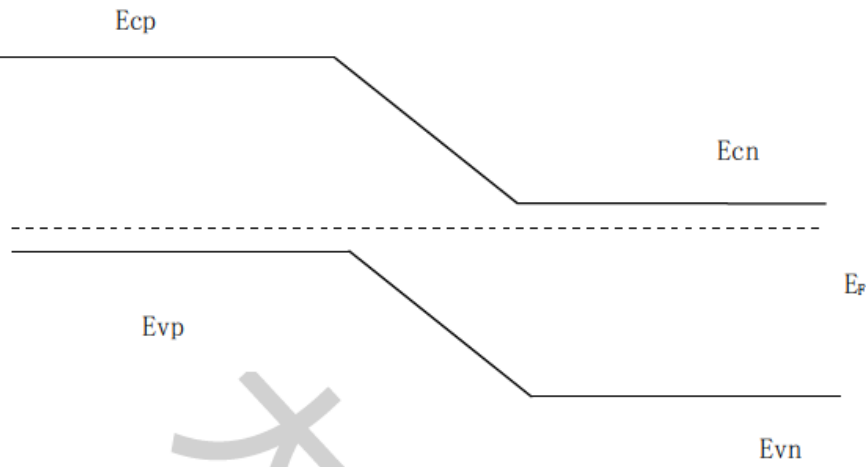


4. 说明 pn 结扩散电容的产生机制。

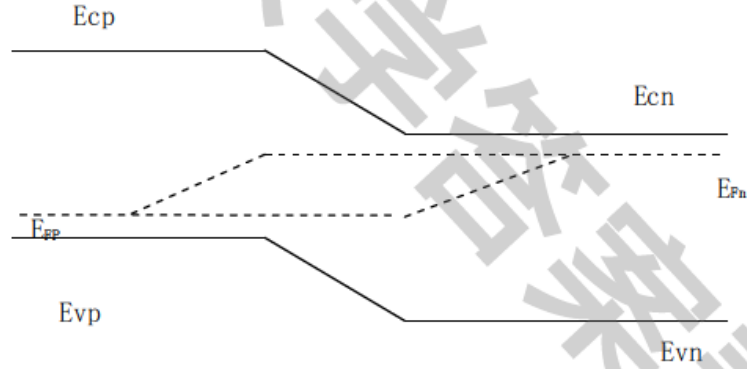
Pn 结加正向电压时，电子自 n 区一侧注入 p 区，空穴由 p 区注入 n 区，并在扩散区内形成少子的积累，为了保持电中性，各区的多子也会有相应的积累。当外电压变化时，积累的电荷会随着变化，产生扩散电容。

三、（10 分）画出平衡 pn 结及加正向和反向电压时 pn 结的能带图。

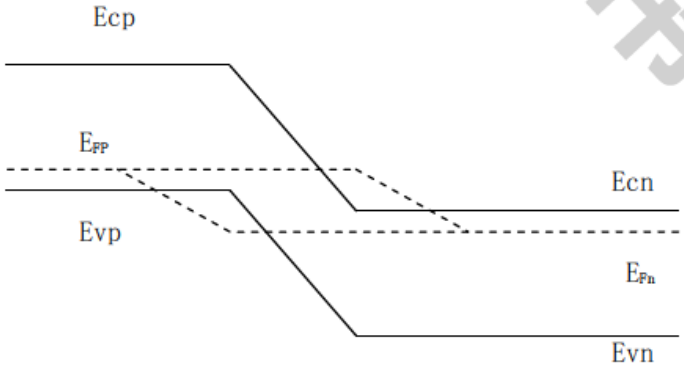
平衡 pn 结



加正向偏压的 pn 结



加反向偏压时的能带图



四、（10 分）理想 pn 结加正向电压 V ，

1. 求出势垒区边界 $x=-x_p$ (p 区一侧) 和 $x=x_n$ (n 区一侧) 处的少数载流子浓度。

2. 求出通过 pn 的总电流。

（已知空穴在 n 区的扩散系数为 D_p ，寿命为 τ_p ，扩散长度为 L_p ；电子在 p 区的扩散系数为 D_n ，寿命为 τ_n ，扩散长度为 L_n ）

解：1. 由 $n_p(-x_p)p_p(-x_p) = n_i^2 \exp(\frac{qV}{k_0T})$ 得

$$n_p(-x_p) = n_{p0} \exp(\frac{qV}{k_0T}) \quad \Delta n_p(-x_p) = n_{p0} [\exp(\frac{qV}{k_0T}) - 1]$$

由 $n_n(x_n)p_n(x_n) = n_i^2 \exp(\frac{qV}{k_0T})$ 得

$$p_n(x_n) = p_{n0} \exp(\frac{qV}{k_0T}) \quad \Delta p_n(x_n) = p_{n0} [\exp(\frac{qV}{k_0T}) - 1]$$

2. 在稳态时，空穴的扩散方程为 $D_p \frac{d^2 \Delta p_n}{dx^2} - \frac{\Delta p_n}{\tau_p} = 0$

$$\text{解为} \quad \Delta p_n(x) = p_{n0} [\exp(\frac{qV}{k_0T}) - 1] \exp(\frac{x_p + x}{L_p})$$

$$\text{电流为} \quad J_p(x_n) = -qD_p \frac{d\Delta p_n(x)}{dx} \Big|_{x=x_n} = \frac{qD_p p_{n0}}{L_p} [\exp(\frac{qV}{k_0T}) - 1]$$

同理，在 $x=-x_p$ 处，电子的扩散电流为

$$J_n(-x_p) = -qD_n \frac{d\Delta n_p(x)}{dx} \Big|_{x=-x_p} = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} [\exp(\frac{qV}{k_0T}) - 1]$$

总电流为

$$J = (\frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p p_{n0}}{L_p}) [\exp(\frac{qV}{k_0T}) - 1]$$