半导体物理习题解答

1－1.（P_{32}）设晶格常数为 a 的一维晶格，导带极小值附近能量 E_c（k）和价带极大值附近能量 E_v（k）分别为：

$E_c(k)=\dfrac{h^2k^2}{3m_0}+\dfrac{h^2(k-k1)^2}{m_0}$ 和 $E_v(k)=\dfrac{h^2k^2}{6m_0}-\dfrac{3h^2k^2}{m_0}$；

m_0 为电子惯性质量，k_1＝1/2a；a＝0.314nm。试求：

①禁带宽度；

②导带底电子有效质量；

③价带顶电子有效质量；

④价带顶电子跃迁到导带底时准动量的变化。

[解] ①禁带宽度 Eg

根据 $\dfrac{dEc(k)}{dk}=\dfrac{2\hbar^2k}{3m_0}+\dfrac{2\hbar^2(k-k_1)}{m_0}$＝0；可求出对应导带能量极小值 E_{min} 的 k 值：

$k_{min}=\dfrac{3}{4}k_1$，

由题中 E_C 式可得：$E_{min}=E_C(K)|_{k=k_{min}}=\dfrac{\hbar}{4m_0}k_1^2$；

由题中 E_V 式可看出，对应价带能量极大值 Emax 的 k 值为：k_{max}＝0；

并且 $E_{min}=E_V(k)|_{k=k_{max}}=\dfrac{\hbar_2k_1^2}{6m_0}$；∴$Eg=E_{min}-E_{max}=\dfrac{\hbar^2k_1^2}{12m_0}=\dfrac{h^2}{48m_0a^2}$

$=\dfrac{(6.62\times10^{-27})^2}{48\times9.1\times10^{-28}\times(3.14\times10^{-8})^2\times1.6\times10^{-11}}$＝0.64eV

②导带底电子有效质量 m_n

$\dfrac{d^2E_C}{dk^2}=\dfrac{2\hbar^2}{3m_0}+\dfrac{2h^2}{m_0}=\dfrac{8\hbar^2}{3m_0}$；∴ $m_n=\hbar^2/\dfrac{d^2E_C}{dk^2}=\dfrac{3}{8}m_0$

③价带顶电子有效质量 m’

$\dfrac{d^2E_V}{dk^2}=-\dfrac{6\hbar^2}{m_0}$，∴ $m_n^{'}=\hbar^2/\dfrac{d^2E_V}{dk^2}=-\dfrac{1}{6}m_0$

④准动量的改变量

$\hbar\triangle k=\hbar(k_{min}-k_{max})=\dfrac{3}{4}\hbar k_1=\dfrac{3h}{8a}$ ［毕］

1－2.（P_{33}）晶格常数为 0.25nm 的一维晶格，当外加 10^2V/m，10^7V/m 的电场时，试分别计算电子自能带底运动到能带顶所需的时间。

[解] 设电场强度为 E，∵$F=h\dfrac{dk}{dt}=qE$（取绝对值） ∴$dt=\dfrac{h}{qE}dk$

∴$t=\int_0^t dt=\int_0^{\frac{1}{2a}}\dfrac{h}{qE}dk=\dfrac{h}{qE}\dfrac{1}{2a}$ 代入数据得：

$t=\dfrac{6.62\times10^{-34}}{2\times1.6\times10^{-19}\times2.5\times10^{-10}\times E}=\dfrac{8.3\times10^{-6}}{E}$ （s）

当 E＝10^2 V/m 时，t＝8.3×10^{-8}（s）；E＝10^7V/m 时，t＝8.3×10^{-13}（s）。 **[毕]**

3－7.（P_{81}）①在室温下，锗的有效状态密度 Nc＝1.05×10^{19}cm^{-3}，Nv＝5.7×10^{18}cm^{-3}，试求锗的载流子有效质量 m_n^*和 m_p^*。计算 77k 时的 Nc 和 Nv。已知 300k 时，Eg＝0.67eV。77k 时 Eg＝0.76eV。求这两个温度时锗的本征载流子浓度。②77k，锗的电子浓度为 10^{17}cm^{-3}，假定浓度为零，而 Ec－E_D＝0.01eV,求锗中施主浓度 N_D为多少？

[解] ①室温下，T=300k（27℃）, k_0=1.380×10^{-23}J/K，h=6.625×10^{-34}J·S，

对于锗：Nc＝1.05×10^{19}cm^{-3}，Nv=5.7×10^{18}cm^{-3}；

＃求 300k 时的 Nc 和 Nv：

根据（3－18）式：

$$Nc=\frac{2(2\pi\cdot m_n^*k_0T)^{\frac{3}{2}}}{h^3}\Rightarrow m_n^*=\frac{h^2(\frac{Nc}{2})^{\frac{2}{3}}}{2\pi\cdot k_0T}=\frac{(6.625\times10^{-34})^2(\frac{1.05\times10^{19}}{2})^{\frac{2}{3}}}{2\times3.14\times1.38\times10^{-23}\times300}=5.0968\times10^{-31}Kg$$

根据(3－23)式：

$$Nv=\frac{2(2\pi\cdot m_p^*k_0T)^{\frac{3}{2}}}{h^3}\Rightarrow m_p^*=\frac{h^2(\frac{Nv}{2})^{\frac{2}{3}}}{2\pi\cdot k_0T}=\frac{(6.625\times10^{-34})^2(\frac{5.7\times10^{18}}{2})^{\frac{2}{3}}}{2\times3.14\times1.38\times10^{-23}\times300}=3.39173\times10^{-31}Kg$$

＃求 77k 时的 Nc 和 Nv：

$$\frac{N_c^{'}}{N_c}=\frac{\frac{2(2\pi\cdot m_n^*k_0T')^{\frac{3}{2}}}{h^3}}{\frac{2(2\pi\cdot m_n^*k_0T)^{\frac{3}{2}}}{h^3}}=(\frac{T'}{T})^{\frac{3}{2}};N_c^{'}=(\frac{T'}{T})^{\frac{3}{2}}N_c=(\frac{77}{300})^{\frac{3}{2}}\times1.05\times10^{19}=1.365\times10^{19}$$

同理：

$$N_v^{'}=(\frac{T'}{T})^{\frac{3}{2}}N_v=(\frac{77}{300})^{\frac{3}{2}}\times5.7\times10^{18}=7.41\times10^{17}$$

＃求 300k 时的 n_i：

$$n_i=(NcNv)^{\frac{1}{2}}\exp(-\frac{Eg}{2k_0T})=(1.05\times10^{19}\times5.7\times10^{18})\exp(-\frac{0.67}{0.052})=1.96\times10^{13}$$

求 77k 时的 n_i：

$$n_i=(NcNv)^{\frac{1}{2}}\exp(-\frac{Eg}{2k_0T})=(1.05\times10^{19}\times5.7\times10^{18})\exp(-\frac{0.76\times1.6\times10^{-19}}{2\times1.38\times10^{-23}\times77})=1.094\times10^{-7}$$

②77k 时，由（3－46）式得到：

Ec－E_D＝0.01eV＝0.01×1.6×10^{-19}；T＝77k；k_0＝1.38×10^{-23}；n_0＝10^{17}；Nc＝1.365×10^{19}cm^{-3}；

$$N_D=\frac{[n_0\exp(\frac{Ec-E_D}{2k_0T})]^2\times2}{Nc}=\frac{[10^{17}\times\exp(\frac{0.01\times1.6\times10^{-19}}{2\times1.38\times10^{-23}\times77})]^2\times2}{1.365\times10^{19}}=6.6\times10^{16}$$；**[毕]**

3－8.（P_{82}）利用题 7 所给的 Nc 和 Nv 数值及 Eg＝0.67eV，求温度为 300k 和 500k 时，含施主浓度 N_D＝5×10^{15}cm^{-3}，受主浓度 N_A＝2×10^9cm^{-3} 的锗中电子及空穴浓度为多少？

[解]1) T＝300k 时，对于锗：N_D＝5×10^{15}cm^{-3}，N_A＝2×109cm^{-3}：

$n_i=(NcNv)^{\frac{1}{2}}\exp(-\frac{Eg}{2k_0T})=1.96\times10^{13}cm^{-3}$；

$n_0=N_D-N_A=5\times10^{15}-2\times10^{9}\approx5\times10^{15}$；

$n_0>>n_i$；

$p_0=\frac{n_i^2}{n_0}=\frac{(1.96\times10^{13})^2}{5\times10^{15}}\approx7.7\times10^{10}$；

2）T＝300k 时：

$Eg(500)=Eg(0)-\frac{\alpha\cdot T^2}{T+\beta}=0.7437-\frac{4.774\times10^{-4}\times500^2}{500+235}\approx0.58132eV$；

查图 3-7(P_{61})可得：$n_i\approx2.2\times10^{16}$，属于过渡区，

$n_0=\frac{(N_D-N_A)+[(N_D-N_A)^2+4n_i^2]^{\frac{1}{2}}}{2}=2.464\times10^{16}$；

$\mathrm{p}_0=\frac{n_i^2}{n_0}=1.964\times10^{16}$。

（此题中，也可以用另外的方法得到 n_i：

$N_c^{'}=\frac{(Nc)_{300k}}{300^{\frac{3}{2}}}\times500^{\frac{3}{2}}$；$N_v^{'}=\frac{(Nv)_{300k}}{300^{\frac{3}{2}}}\times500^{\frac{3}{2}}$；$n_i=(NcNv)^{\frac{1}{2}}\exp(-\frac{Eg}{2k_0T})$ 求得 n_i）**[毕]**

3－11.（P_{82}）若锗中杂质电离能△E_D＝0.01eV，施主杂质浓度分别为 N_D＝$10^{14}cm^{-3}$ 及 $10^{17}cm^{-3}$，计算(1)99%电离，(2)90%电离，(3)50%电离时温度各为多少？

[**解**]未电离杂质占的百分比为：

$$D\_=\frac{2N_D}{Nc}\exp\frac{\Delta E_D}{k_0T}\Rightarrow\frac{\Delta E_D}{k_0T}=\ln\frac{D\_Nc}{2N_D};$$

求得：

$$\frac{\Delta E_D}{k_0T}=\frac{0.01}{1.38\times10^{-23}}\times1.6\times10^{-19}=116;$$

$$Nc=\frac{2(2\pi m_n^*k_0)^{\frac{3}{2}}}{h^3}=2\times10^{15}(T^{\frac{3}{2}}/cm^3)$$

$\therefore\frac{116}{T}=\ln\frac{D\_Nc}{2N_D}=\ln(\frac{D\_\times2\times10^{15}\times T^{\frac{3}{2}}}{2N_D})=\ln(\frac{10^{15}}{N_D}D\_T^{\frac{3}{2}})$

(1) $N_D=10^{14}cm^{-3}$，99%电离，即 D_=1-99%=0.01

$$\frac{116}{T}=\ln(10^{-1}T^{\frac{3}{2}})=\frac{3}{2}\ln T-2.3$$

即：$\frac{116}{T}=\frac{3}{2}\ln T-2.3$

将 N_D=10^{17}cm^{-3}，D_=0.01 代入得：

$$\frac{116}{T}=\ln 10^4 T^{\frac{3}{2}}=\frac{3}{2}\ln T-4\ln 10$$

即：$\frac{116}{T}=\frac{3}{2}\ln T-9.2$

(2) 90%时，D_=0.1

$$N_D=10^{14}cm^{-3} \qquad \frac{\Delta E_D}{k_0T}=\ln\frac{0.1Nc}{2N_D}$$

$$\frac{116}{T}=\ln\frac{0.1\times 2\times 10^{15}}{2N_D}T^{\frac{3}{2}}=\ln\frac{10^{14}}{N_D}T^{\frac{3}{2}}$$

即：$\frac{116}{T}=\frac{3}{2}\ln T$

N_D=10^{17}cm^{-3} 得：$\frac{116}{T}=\frac{3}{2}\ln T-3\ln 10$

即：$\frac{116}{T}=\frac{3}{2}\ln T-6.9$；

(3) 50％电离不能再用上式

$\because n_D=n_D^{+}=\frac{N_D}{2}$

即：$\frac{N_D}{1+\frac{1}{2}\exp(\frac{E_D-E_F}{k_0T})}=\frac{N_D}{1+2\exp(-\frac{E_D-E_F}{k_0T})}$

$\therefore \exp(\frac{E_D-E_F}{k_0T})=4\exp(-\frac{E_D-E_F}{k_0T})$

$$\frac{E_D-E_F}{k_0T}=\ln 4-\frac{E_D-E_F}{k_0T}$$

即：$E_F=E_D-k_0T\ln 2$

$$n_0=Nc\exp(-\frac{E_c-E_F}{k_0T})=\frac{N_D}{2}$$

取对数后得：

$$-\frac{E_C-E_D+k_0T\ln 2}{k_0T}=\ln\frac{N_D}{2Nc}$$

整理得下式：

$$-\frac{\Delta E_D}{k_0T}-\ln 2=\ln\frac{N_D}{2Nc} \quad \therefore \ -\frac{\Delta E_D}{k_0T}=\ln\frac{N_D}{Nc}$$

即：$\frac{\Delta E_D}{k_0T}=\ln\frac{Nc}{N_D}$

当 $N_D=10^{14}cm^{-3}$时，

$$\frac{116}{T}=\ln\frac{2\times10^{15}\times T^{\frac{3}{2}}}{10^{14}}=\ln(20T^{\frac{3}{2}})=\frac{3}{2}\ln T+\ln 20$$

得 $\frac{116}{T}=\frac{3}{2}\ln T+3$

当 $N_D=10^{17}cm^{-3}$时 $\frac{116}{T}=\frac{3}{2}\ln T-3.9$

此对数方程可用图解法或迭代法解出。**[毕]**

3－14.（P_{82}）计算含有施主杂质浓度 N_D＝9×1015cm^{-3} 及受主杂质浓度为 1.1×1016cm^{-3} 的硅在 300k 时的电子和空穴浓度以及费米能级的位置。

[解]对于硅材料：$N_D=9\times10^{15}cm^{-3}$；$N_A=1.1\times10^{16}cm^{-3}$；T＝300k 时 $n_i=1.5\times10^{10}cm^{-3}$：

$p_0=N_A-N_D=2\times10^{15}cm^{-3}$；

$$n_0=\frac{n_i}{p_0}=\frac{(1.5\times10^{10})^2}{0.2\times10^{16}}\text{cm}^{-3}=1.125\times10^5cm^{-3}$$

$$\because p_0=N_A-N_D \text{且} p_0=\text{Nv}\cdot\exp(\frac{E_V-E_F}{K_0T})$$

$$\therefore \frac{N_A-N_D}{Nv}=\exp(\frac{E_V-E_F}{k_0T})$$

$$\therefore E_F=Ev-k_0T\ln\frac{N_A-N_D}{Nv}=Ev-0.026\ln\frac{0.2\times10^{16}}{1.1\times10^{19}}(eV)=Ev-0.224eV$$ **[毕]**

3－18.（P_{82}）掺磷的 n 型硅，已知磷的电离能为 0.04eV，求室温下杂质一般电离时费米能级的位置和磷的浓度。

[解]n 型硅，$\triangle E_D$＝0.044eV，依题意得：

$$n_0=n_D^+=0.5N_D$$

$$\therefore \frac{N_D}{1+2\exp(-\frac{E_D-E_F}{k_0T})}=0.5N_D$$

$$\therefore 1+2\exp(-\frac{E_D-E_F}{k_0T})=2\Rightarrow\exp(-\frac{E_D-E_F}{k_0T})=\frac{1}{2}$$

$$\therefore E_D-E_F=-k_0T\ln\frac{1}{2}=k_0T\ln2\Rightarrow E_D-E_C+E_C-E_F=k_0T\ln2$$

$$\because \Delta E_D=E_C-E_D=0.044$$

$$\therefore E_F=E_C-k_0T\ln2-0.044\Rightarrow E_F-E_C=-k_0T\ln2-0.044=0.062eV$$

$$N_D = 2N_C \exp(-\frac{E_C - E_F}{k_0 T}) = 2\times 2.8\times 10^{19} \exp(-\frac{0.062}{0.026}) \approx 5.16\times 10^{18} (cm^{-3})$$ **[毕]**

3－19.（P_{82}）求室温下掺锑的 n 型硅，使 $E_F=(E_C+E_D)/2$ 时的锑的浓度。已知锑的电离能为 0.039eV。

[解]由 $E_F = \frac{E_C + E_D}{2}$ 可知，$E_F>E_D$，∵EF 标志电子的填充水平，故 ED 上几乎全被电子占据，又∵在室温下，故此 n 型 Si 应为高掺杂，而且已经简并了。

$$\because \Delta E_D = E_C - E_D = 0.039eV$$

$$E_C - E_F = E_C - \frac{E_C + E_D}{2} = 0.0195 < 0.052 = 2k_0 T$$

即 $0 < \frac{E_C - E_F}{k_0 T} < 2$ ；故此 n 型 Si 应为弱简并情况。

$$\therefore n_0 = n_D^+ = \frac{N_D}{1 + 2\exp(\frac{E_F - E_D}{k_0 T})} = \frac{N_D}{1 + 2\exp(\frac{\Delta E_D}{k_0 T})}$$

$$\begin{aligned}
\therefore\ N_D &= \frac{2Nc}{\sqrt{\pi}}[1 + 2\exp(\frac{E_F - E_D}{k_0 T})]\times F_{\frac{1}{2}}(\frac{E_F - E_C}{k_0 T}) \\
&= \frac{2Nc}{\sqrt{\pi}}[1 + 2\exp(\frac{E_F - E_c}{k_0 T})\exp(\frac{\Delta E_D}{k_0 T})]\times F_{\frac{1}{2}}(\frac{E_F - E_C}{k_0 T}) \\
&= \frac{2Nc}{\sqrt{\pi}}[1 + 2\exp(\frac{-0.0195}{0.026})\exp(\frac{0.039}{0.026})]\times F_{\frac{1}{2}}(\frac{-0.0195}{0.026}) \\
&= \frac{2\times 2.8\times 10^{19}}{\sqrt{\pi}}[1 + 2\exp(\frac{0.0195}{0.026})]\times F_{\frac{1}{2}}(\frac{-0.0195}{0.026}) \approx 6.6\times 10^{19} (cm^{-3})
\end{aligned}$$

其中 $F_{\frac{1}{2}}(-0.75) = 0.4$ **[毕]**

3－20.（P_{82}）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。①设 n 型硅单晶衬底是掺锑的，锑的电离能为 0.039eV，300k 时的 E_F 位于导带底下面 0.026eV 处，计算锑的浓度和导带中电子浓度。

[解] ①根据第 19 题讨论，此时 Ti 为高掺杂，未完全电离：

$0 < E_C - E_F = 0.026 < 0.052 = 2k_0 T$，即此时为弱简并

$$\because n_0 \approx n_D^+ = \frac{N_D}{1 + 2\exp(\frac{E_F - E_D}{k_0 T})}$$

$$E_F - E_D = (E_C - E_D) - (E_C - E_F) = 0.039 - 0.026 = 0.013(eV)$$

$$N_D=\frac{2Nc}{\sqrt{\pi}}[1+2\exp(\frac{E_F-Ec}{k_0T})\times\exp(\frac{\Delta E_D}{k_0T})]F_{\frac{1}{2}}(\frac{E_F-E_C}{k_0T})$$

$$=\frac{2\times2.8\times10^{19}}{\sqrt{\pi}}[1+2\exp(-1)\times\exp(\frac{0.039}{0.026})]F_{\frac{1}{2}}(-1)$$

$$\approx4.07\times10^{19}(cm^{-3})$$

其中 $F_{\frac{1}{2}}(-1)=0.3$

$$n_0=Nc\frac{2}{\sqrt{\pi}}F_{\frac{1}{2}}(\frac{E_F-E_C}{k0T})=\frac{2\times2.8\times1019}{\sqrt{\pi}}F_{\frac{1}{2}}(\frac{-0.026}{0.026})\approx9.5\times10^{19}(cm^{-3})$$ **[毕]**

4－1.（P_{113}）300K 时，Ge 的本征电阻率为 47Ω•cm，如电子和空穴迁移率分别为 3900cm^2/V•S 和 1900cm^2/V•S，试求本征 Ge 的载流子浓度。

[解]T=300K，ρ＝47Ω•cm，μ_n＝3900cm^2/V•S，μ_p＝1900 cm^2/V•S

$$\rho=\frac{1}{n_iq(\mu_n+\mu_p)}\Rightarrow n_i=\frac{1}{\rho q(\mu_n+\mu_p)}=\frac{1}{47\times1.602\times10^{-19}(3900+1900)}=2.29\times10^{13}cm^{-3}$$ **[毕]**

4－2.（P_{113}）试计算本征 Si 在室温时的电导率，设电子和空穴迁移率分别为 1350cm^2/V•S 和 500cm^2/V•S。当掺入百万分之一的 As 后，设杂质全部电离，试计算其电导率。比本征 Si 的电导率增大了多少倍？

[解]T=300K,，μ_n＝1350cm^2/V•S，μ_p＝500 cm^2/V•S

$$\sigma=n_iq(\mu_n+\mu_p)=1.5\times10^{10}\times1.602\times10^{-19}\times(1350+500)=4.45\times10^{-6}s/cm$$

掺入 As 浓度为 N_D＝5.00×10^{22}×10^{-6}＝5.00×10^{16}cm^{-3}

杂质全部电离，$N_D>>n_i^2$，查 P_{89} 页，图 4－14 可查此时 μ_n＝900cm^2/V•S

$$\sigma_2=nq\mu_n=5\times10^{16}\times1.6\times10^{-19}\times900=7.2S/cm$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma}=\frac{7.2}{4.45\times10^{-6}}=1.62\times10^{6}$$ **[毕]**

4－13.（P_{114}）掺有 1.1×10^{16} cm^{-3} 硼原子和 9×10^{15} cm^{-3} 磷原子的 Si 样品，试计算室温时多数载流子和少数载流子浓度及样品的电阻率。

[解]N_A＝1.1×10^{16} cm^{-3}，N_D＝9×10^{15} cm^{-3}

$$p_0=N_A-N_D=2\times10^{15}cm^{-3}$$

$$n_0=\frac{n_i^2}{p_0}=\frac{1.5\times10^{10}}{2\times10^{15}}=1.125\times10^{5}\text{cm}^{-3}$$

可查图 4－15 得到 $\rho=7$ Ω•cm

（根据 $N_A+N_D=2\times10^{16}\text{cm}^{-3}$，查图 4－14 得 ρ，然后计算可得。）**[毕]**

4－15.（P_{114}）施主浓度分别为 10^{13} 和 10^{17}cm^{-3} 的两个 Si 样品，设杂质全部电离，分别计算：①室温时的电导率。

[解]n_1＝10^{13} cm^{-3}，T＝300K，

$$\sigma_1=n_1q\mu_n=10^{13}\times1.6\times10^{-19}\times1350s/cm=2.16\times10^{-3}s/cm$$

n_2＝10^{17}cm^{-3}时，查图可得 $\mu_n = 800\Omega \cdot cm$

$\sigma_1 = n_1 q\mu_n = 10^{13} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 800 s/cm = 12.8 s/cm$ **[毕]**

5－5.（P_{144}）n 型硅中，掺杂浓度 N_D＝10^{16}cm^{-3}，光注入的非平衡载流子浓度Δn＝Δp＝10^{14}cm^{-3}。计算无光照和有光照时的电导率。

[解]

n-Si，N_D＝10^{16}cm^{-3}，Δn＝Δp＝10^{14}cm^{-3}，查表 4－14 得到：$\mu_n \approx 1200, \mu_p = 400$：

无光照：$\sigma = nq\mu_n = N_D q\mu_n = 10^{16} \times 1.602 \times 10^{-19} \times 1200 \approx 1.92 (S/cm)$

Δn＝Δp<<N_D，为小注入：

有光照：

$$\sigma' = (n+\Delta n)q\mu_n + (p+\Delta p)q\mu_p = [(10^{16}+10^{14}) \times 1200 + 10^{14} \times 400] \times 1.602 \times 10^{-19}$$
$$\approx 1.945 (S/cm)$$

[毕]

5－7.（P_{144}）掺施主杂质的 N_D＝10^{15}cm^{-3}n 型硅，由于光的照射产生了非平衡载流子Δn＝Δp＝10^{14}cm^{-3}。试计算这种情况下准费米能级的位置，并和原来的费米能级做比较。

[解]

n-Si，N_D＝10^{15}cm^{-3}，Δn＝Δp＝10^{14}cm^{-3}，

$$n_0 = N_C \exp(-\frac{E_C - E_F}{k_0 T})$$

$$\Rightarrow E_F = Ec + k_0 T \ln \frac{n_0}{Nc} = Ec + 0.026 \ln \frac{10^{15}}{2.8 \times 10^{19}} eV = Ec - 0.266 eV$$

光照后的半导体处于非平衡状态：

$$n = n_0 + \Delta n = N_C \exp(-\frac{E_C - E_F^n}{k_0 T})$$

$$\therefore E_F^n = Ec + k_0 T \ln \frac{n_0 + \Delta n}{Nc} = Ec + 0.026 \ln \frac{10^{15} + 10^{14}}{2.8 \times 10^{19}} eV = Ec - 0.264 eV$$

$$E_F^n - E_F = 0.002 eV$$

$$p \approx \Delta p = N_V \exp(\frac{Ev - E_F^p}{k_0 T})$$

$$\therefore E_F^p = Ev - k_0 T \ln \frac{\Delta p}{Nv} = Ev - 0.026 \ln \frac{10^{14}}{1.1 \times 10^{19}} eV = Ev + 0.302 eV$$

室温下，Eg_{Si}＝1.12eV；

$$E_F = Ec - 0.266 eV = Eg + Ev - 0.266 eV = 1.12 eV + Ev - 0.266 eV = Ev + 0.854 eV$$

$$E_F - E_F^p = 0.552 eV$$

比较：

由于光照的影响，非平衡多子的准费米能级 E_F^n 与原来的费米能级 E_F 相比较偏离不多，而非平衡勺子的费米能级 E_F^p 与原来的费米能级 E_F 相比较偏离很大。**[毕]**

5－16.（P_{145}）一块电阻率为 3Ω •cm 的 n 型硅样品，空穴寿命 $\tau_p = 5\mu s$，再其平面形的表面处有稳定的空穴注入，过剩空穴浓度 $(\Delta p)_0 = 10^{13} cm^{-3}$，计算从这个表面扩散进入半导体内部的空穴电流密度，以及在离表面多远处过剩空穴浓度等于 $10^{12}cm^{-3}$？

[解] $\rho = 3\Omega \cdot cm$；$\tau_p = 5\mu s$，$(\Delta p)_0 = 10^{13} cm^{-3}$：

由 $\rho = 3\Omega \cdot cm$ 查图 4－15 可得：$N_D \approx 1.75 \times 10^{15} cm^{-3}$，

又查图 4－14 可得：$\mu_p \approx 500 cm^2 / V \cdot S$

由爱因斯坦关系式可得：$D_p = \frac{k_0 T}{q} \mu_p = \frac{1}{40} \cdot 500 cm^2 / S = 12.5 cm^2 / S$

所求 $(Jp)_{扩} = q\frac{Dp}{Lp}\Delta p(x) = q\frac{D_p}{\sqrt{D_p \tau_p}}(\Delta p)_0 \exp(-\frac{x}{\sqrt{D_p \tau_p}})$

而 $Lp = \sqrt{D_p \tau_p} = \sqrt{12.5 \times 5 \times 10^{-6}} \text{cm} \approx 7.9057 \times 10^{-3} cm$

$$\therefore (Jp)_{扩} = 1.6 \times 10^{-19} \cdot \frac{12.5}{7.9057} \cdot 10^{13} \cdot \exp(-\frac{x}{7.9057 \times 10^{-3}}) A/cm^2$$
$$\approx 2.53 \times 10^{-3} \cdot \exp(-126.5x) A/cm^2$$

$$\Delta p(x) = (\Delta p)_0 \exp(-126.5)$$

$$\therefore x = -\frac{1}{126.5} \ln \frac{\Delta p(x)}{(\Delta p)_0} = -\frac{1}{126.5} \ln \frac{10^{12}}{10^{13}} cm \approx -\frac{1}{126.5} \cdot (-2.3) cm = 0.0182 cm$$ [毕]