

## 第 4 章 扩散习题

1. 一块厚度为  $d$  的薄板，在  $T_1$  温度下两侧的浓度分别为  $w_1, w_0$  ( $w_1 > w_0$ )，当扩散达到平稳态后，给出 扩散系数为常数， 扩散系数随浓度增加而增加， 扩散系数随浓度增加而减小等三种情况下浓度分布示意图。并求出 种情况板中部的浓度。

2. 上题  $d=2\text{mm}$ ,  $w_1=1.4\%$ ,  $w_0=0.15\%$ 。在  $T_1$  温度下  $w_1$  和  $w_0$  浓度的扩散系数分别为  $D_{w1}=7.7 \times 10^{-11} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $D_{w0}=2.5 \times 10^{-11} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。问板的两侧表面的浓度梯度的比值为多大? 设  $w=0.8\%$   $\rho=60\text{kg/m}^3$ , 问扩散流量为多少? (设扩散系数随浓度线性变化)

3. 根据图 4-5(b)和(c)给出的资料, 计算  $x(\text{Ni})=0.4$  以及  $x(\text{Ni})=0.6$  两种合金在  $900^\circ\text{C}$  时的互扩散系数。并和实测数据作比较。

4. 一个封闭钢管，外径为  $1.16\text{cm}$ ，内径为  $0.86\text{cm}$ ，长度为  $10\text{cm}$ 。管内为渗碳气氛，管外为脱碳气氛。在  $1000^\circ\text{C}$  保温  $100\text{h}$  后 (达到平稳态扩散)，共有  $3.60\text{g}$  碳逸出钢管。钢管的碳浓度分布如下所示：

$r/\text{cm}$	$w(\text{C})/\%$	$r/\text{cm}$	$w(\text{C})/\%$
0.553	0.28	0.491	1.09
0.540	0.46	0.479	1.20
0.527	0.65	0.466	1.32
0.516	0.82	0.449	1.42

计算各个浓度下的扩散系数，画出浓度-扩散系数曲线。

5. 一块厚钢板， $w(\text{C})=0.1\%$ ，在  $930^\circ\text{C}$  渗碳，表面碳浓度保持  $w(\text{C})=1\%$ ，设扩散系数为常数， $D=0.738\exp[-158.98(\text{kJ/mol})/RT]$  ( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )。问距表面  $0.05\text{cm}$  处碳浓度  $w(\text{C})$  升至  $0.45\%$

%所需要的时间。若在距表面 0.1cm 处获得同样的浓度 (0.45%) 所需时间又是多少?导出在扩散系数为常数时,在同一温度下渗入距离和时间关系的一般表达式。

6. 上题,问要在什么温度下渗碳才能在上题求出距表面 0.05cm 处获得碳浓度  $w(C)$  为 0.45% 所需要的相同时间内使距表面 0.1cm 处获得 0.45% 的碳浓度?

7. 在纯铜圆柱体一个顶端电镀一层薄的放射性同位素铜。在高温退火 20h 后,对铜棒逐层剥层测量放射性强度  $\alpha$  ( $\alpha$  正比于浓度),数据如下:

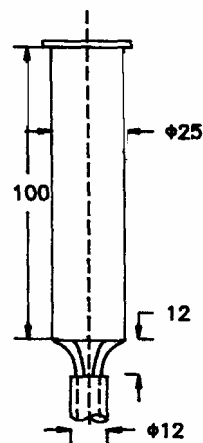
距顶端距离 $x/\text{cm}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$\alpha$ (任意单位)	5012	3981	2512	1413	524.8

求铜的自扩散系数。

8.  $\alpha\text{-Fe}$  薄板中含有一定量的氢,均匀分布。在 20 下脱氢。设表面浓度为零,若薄板厚度为 10mm,问把全部氢的 90% 除掉要多长时间?氢在  $\alpha\text{-Fe}$  中的扩散系数  $D_0=0.0011\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $Q=11.53\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。除了用解析解外,设计一个程序,用计算机求解,对比所得结果。

9. 设一钢板在 920 分隔两种气氛,钢板的厚度为 10mm,原始碳含量  $w(C)$  为 0.1%,钢板一侧和气氛的平衡碳势为 0.9%,另一侧为 0.4%。求 20h 后钢板的浓度分布。问经历多长时间钢板内的扩散达到平稳态?此时碳以多大的流量从钢板的一侧扩散到另一侧? (用数值解。  $D=8.072 \times 10^{-8}\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )

10. 若以热扩散率  $a = \lambda / \rho c_p$  (其中  $\lambda$  是导热系数,  $\rho$  是密度,  $c_p$  是比恒压热容) 代替扩散方程的扩散系数, 温度代替浓度, 则可得到传热方程。钢的顶端淬火试样, 如图所示。试样加热  $915^\circ\text{C}$  后取出, 在底端喷水冷却, 水温维持  $24^\circ\text{C}$ , 设只从底面散热, 冷却时钢的转变潜热可忽略, 并设  $\lambda$ 、 $c_p$  等不随温度而变。求冷却 5s 后以及 1min 后沿棒长的温度分布曲线(描出距顶端 0, 0.2, 0.6, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0cm 处的温度即可), 并求出各点在  $725^\circ\text{C}$  时的冷却速度。 $a = 0.127\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 。



11. 在  $10^5\text{Pa}(1\text{atm})$  25  $^\circ\text{C}$  下, 氢分子平均运动速度是  $13 \times 10^4\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , 运动的平均自由程是  $19 \times 10^{-6}\text{cm}$ , 计算氢分子的扩散系数。

12. 在介质中放入一定量  $M$  的扩散物质, 扩散物质近似为一个点, 其体积可以忽略。扩散物质三维扩散, 其扩散方程解为

$$C(r, t) = \frac{M}{8(\pi Dt)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right)$$

给出在  $r \sim r+dr$  球壳内发现扩散物质的几率;

给出  $t$  时刻扩散原子所走的平均距离  $\overline{r^2}$ ;

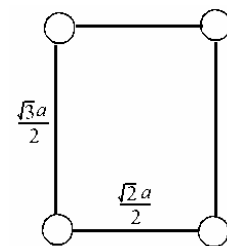
导出  $D = \Gamma d^2 / 6$ 。

13. 在  $\alpha\text{-Fe}$  固溶体中碳的平均振动频率为  $10^{13}\text{s}^{-1}$ ,  $\alpha\text{-Fe}$  的点阵常数  $a = 2.904 \times 10^{-10}\text{m}$ , 根据表 4-5 资料, 求碳的扩散激活熵。

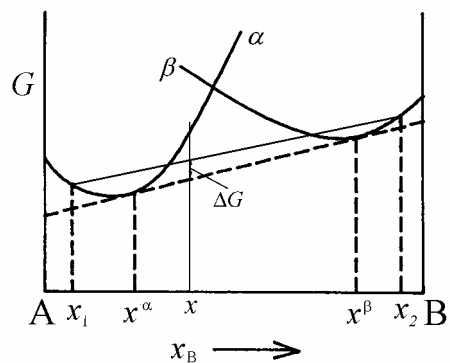
14. 在纯金属中若存在空位浓度梯度时会引起空位扩散流，证明空位扩散系数  $D_v$  和自扩散系数  $D_s$  有如下关系： $D_v/D_s=(f_0x_v)^{-1}$ 。其中  $x_v$  是空位的原子浓度。

15. 银的体积扩散系数  $D_1 = 7.2 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{190\text{kJ/mol}}{RT}\right) \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ；晶界扩散系数  $D_b = 1.4 \times 10^{-5} \exp\left(-\frac{90\text{kJ/mol}}{RT}\right) \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ；一个多晶体，晶粒尺寸为  $2 \times 10^{-5} \text{m}$ ，晶界厚度为  $5 \times 10^{-10} \text{m}$ ，求  $527^\circ\text{C}$ 、 $727^\circ\text{C}$  及  $927^\circ\text{C}$  的有效扩散系数，在哪一个温度下晶界扩散的贡献可以忽略？

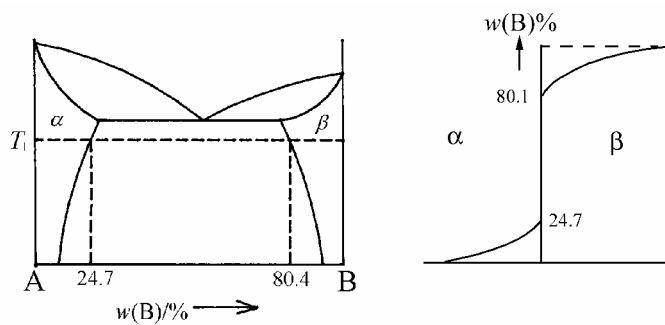
16. 图 4-26 中单晶体银在  $500^\circ\text{C}$  时自扩散系数的实测值比高温外推所得值高约 2 个数量级，可能的原因是什么？设位错线每个原子面“包含”约 10 个原子，沿位错线的扩散系数  $D_d = 0.1 \exp\left(-\frac{82\text{kJ/mol}}{RT}\right) \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ，估计晶体的位错密度  $\rho$  ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ )。



17. 图 4-36 是 A-B 二元系在温度  $T_1$  时的摩尔自由能-成分（摩尔分数）图。设一块 B 浓度为  $x_1$  的  $\alpha$  相和浓度为  $x_2$  的  $\beta$  相焊合在一起，问在这个温度下 A 和 B 原子迁移的方向是什么？指出到达两相平衡时两相的浓度。若原来  $\alpha$  相厚度为  $l_1$ ， $\beta$  相厚度为  $l_2$ ，当整块合金达到平衡后，在成分-自由能图上表示系统的自由能降低量？两相界面距原来焊合面多远？（设 A 和 B 的相对原子质量分别为  $A_A$  和  $A_B$ ，忽略 A 和 B 的摩尔体积的差异）。



18. A-B 二元系如图 4-37 所示，A 和 B 组成扩散偶，在  $T_1$  温度保温，当  $\alpha$  和  $\beta$  界面达到平衡后，求界面的推移速度。设扩散系数和成分无关，在  $T_1$  温度 B 原子在两相的扩散系数分别为  $D_B^\alpha = 7.4 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ， $D_B^\beta = 2.0 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。



19. 用以下资料画出  $\ln D - 1/T$  的曲线图，假设所有误差集中在  $D$  上，用最小二乘法求  $D_0$  和  $Q$ 。

$D/\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
$T/\text{K}$	1350	1100	950	800