

第4章 気体と固体および溶液

[この章の学習目標] 気体と固体および溶液に関する知識

(1) 理想気体

理想気体 (ideal gas), ボイルの法則 (Boyle's law, $V \propto 1/P$), シャルルの法則 (Charles' law, $V \propto T$)

理想気体の状態方程式

$$PV = nRT \quad \dots\dots (1)$$

[補足1] $PV = nRT$ の計算 (S I 単位系を使うこと) P : 圧力 [Pa] V : 体積 [m^3] n : 物質の量 [mol] T : 温度 [K] R (気体定数) = $8.314472 \text{ [J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}]$ 換算 $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ $760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm}$ $\text{TK} = \text{t}^\circ\text{C} + 273.15$ [問1] 0.5 mol , 25°C , 1 atm の理想気体がある。この気体の占める体積を求めよ。《 0.01223 m^3 (12.23 L) 》[問2] 127°C , 1 atm で, 2 L のフラスコ中にあるフッ素ガス (理想気体とする) の量を求めよ。《 0.06091 mol 》[問3] 2 mol の理想気体に, 127°C の温度で, 1520 torr の圧力がかかっている。この条件下で, 気体の占める体積を求めよ。 《 0.03284 m^3 (32.84 L) 》[問4] 50°C , 380 torr で, 800 mL の体積を占めている理想気体の量を求めよ。 《 0.01508 mol 》[問5] -73°C で 2 L の体積を占める水素ガス 12.20 mol の圧力はどれだけか? 《 100.2 atm 》[問6] 128 g の二酸化硫黄(SO_2)ガスの 0.5 atm での体積は 100 L である。この気体の温度を求めよ。(原子量 $\text{O} = 15.999$, $\text{S} = 32.065$) 《 31.8°C 》[問7] ある気体 7.50 g が 127°C , 1.947 atm で, 4.50 L の体積を占めている。この気体が理想気体と仮定して, 分子量を求めよ。 《 28.11 》[問8] 重量%で酸素 69.57% , 窒素 30.43% でできている気体の化合物がある。この気体 1.44 g を 250 mL のフラスコに入れ, 温度を 200°C にしたら, 4.80 atm の圧力を示した。ただし, この気体は理想気体であるとして, つぎの間に答えよ。(原子量 $\text{O} = 15.999$, $\text{N} = 14.007$)

(a) この気体の酸素と窒素の (原子の数で表わした) 比率を求めよ。

(b) この気体の分子量を求めよ。

(c) この化合物の分子式を求めよ。

《 $2 : 1$, 46.59 , NO_2 》

(2) 金属結晶

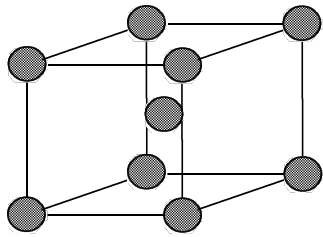


図1. 体心立方格子 (body centered cubic, bcc)

Li, Na, K, Ba, V, Cr, Mo, W

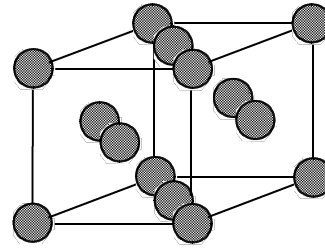


図2. 面心立方格子 (face centered cubic, fcc)

Al, Pb, Ni, Pt, Ir, Ag, Au, Cu

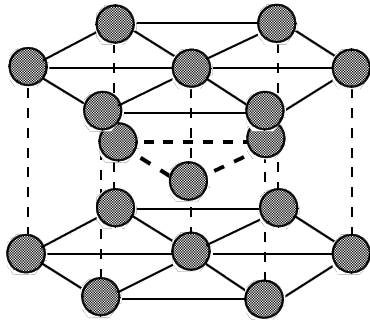


図3. 六方最密充填 (hexagonal closest packing, hcp)

Be, Mg, Zn, Cd

[問9] (a) ある元素 (その原子半径を r とする) の結晶は、体心立方格子である。その単位格子の長さ、単位格子の体積を、 r を使って表せ。

(b) リチウム (原子量: 6.941) の結晶は体心立方格子で、その密度は 0.534 g/cm^3 である。リチウムの原子半径を求めよ。 [参考: 実測値は 0.157 nm] 《 $4\sqrt{3}r/3, 64\sqrt{3}r^3/9, 0.152 \text{ nm}$ 》

[問10] ある元素 (その原子半径を r とする) の結晶は、面心立方格子である。その単位格子の長さ、単位格子の体積を、 r を使って表せ。 《 $2\sqrt{2}r, 16\sqrt{2}r^3$ 》

[問11] つぎの元素の結晶は、面心立方格子である。それぞれの元素の原子半径を求めよ。

(a) アルミニウム (原子量: 26.98) ρ (密度) = 2.69 g/cm^3 [実測値: 0.143 nm]

(b) ニッケル (原子量: 58.69) $\rho = 8.902 \text{ g/cm}^3$ [実測値: 0.125 nm]

(c) 銀 (原子量: 107.87) $\rho = 10.50 \text{ g/cm}^3$ [実測値: 0.144 nm]

(d) 白金 (原子量: 195.08) $\rho = 21.37 \text{ g/cm}^3$ [実測値: 0.139 nm]

《 $0.143 \text{ nm}, 0.124 \text{ nm}, 0.144 \text{ nm}, 0.139 \text{ nm}$ 》

[問12] ある元素 (その原子半径を r とする) の結晶は、六方細密充填である。その単位格子の体積を、 r を使って表せ。

《 $24\sqrt{2}r^3$ 》

[問13] つぎの元素の結晶は、六方細密充填である。それぞれの元素の原子半径を求めよ。

(a) ベリリウム (原子量: 9.012) ρ (密度) = 1.848 g/cm^3

(b) マグネシウム (原子量: 24.31) $\rho = 1.738 \text{ g/cm}^3$ [実測値: 0.160 nm]

(c) 亜鉛 (原子量: 65.41) $\rho = 7.13 \text{ g/cm}^3$ [実測値: 0.137 nm]

(d) カドミウム (原子量: 112.41) $\rho = 8.65 \text{ g/cm}^3$

《 $0.113 \text{ nm}, 0.160 \text{ nm}, 0.139 \text{ nm}, 0.156 \text{ nm}$ 》

(3) 共有結合性結晶

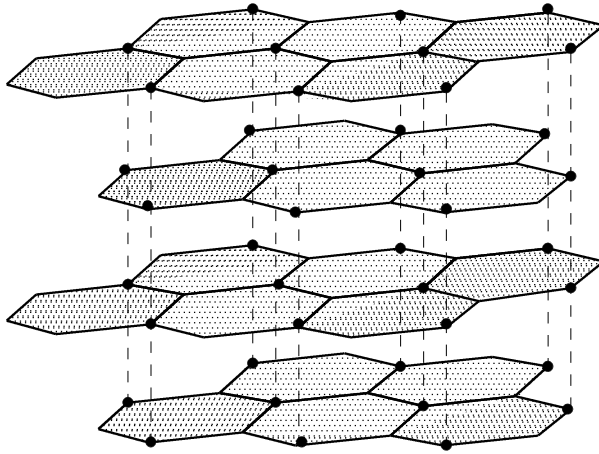


図4. 黒鉛

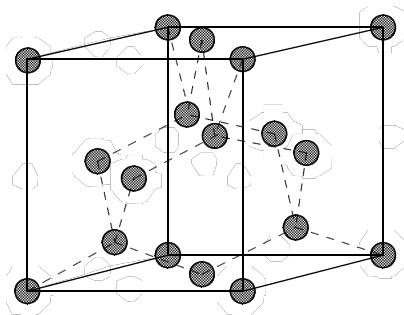


図5. ダイヤモンド

(4) イオン結晶

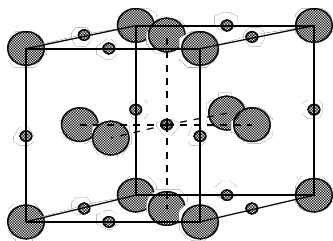


図6. 岩塩型

NaCl, KBr, LiH, AgCl, MgO, FeO, CdO, LaN, CeP

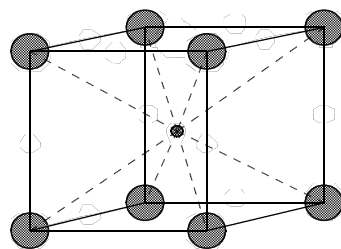


図7. 塩化セシウム型

CsCl, TlBr, NH₄Cl

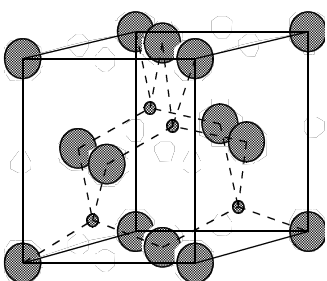


図8. 閃亜鉛鉱型

CuF, CuCl, CuBr, β-CuI, γ-AgI, BeS, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgSe, MnS, AlP, GaP, GaAs, GaSb, SiC

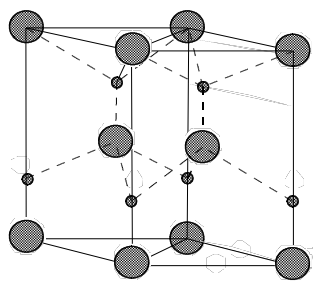


図9. ウルツ鉱型

BeO, ZnO, ZnS, α -CdS, CdSe, AlN, InN, SiC, β -AgI

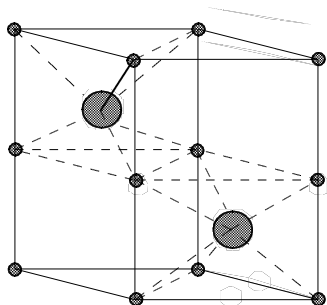


図10. ヒ化ニッケル型

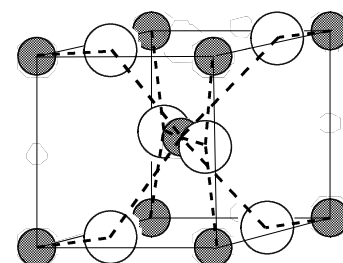
NiAs, NiS, NiSe, NiTe, NiSb, FeS, FeSe, FeSb, CoS, CoSe, CoTe, CoSb, CrS, CrSe, CrTe, MnTe, MnSb, PtSb

[問14] つぎの結晶構造において、単位格子中に存在する陽イオンと陰イオンの数を求めよ。

- (a) 岩塩型
- (b) 塩化セシウム型
- (c) 閃亜鉛鉱型
- (d) ウルツ鉱型
- (e) ヒ化ニッケル型

[問15] 右図はルチル(TiO_2)の結晶構造(黒丸が Ti^{4+} , 白丸が O^{2-})である。

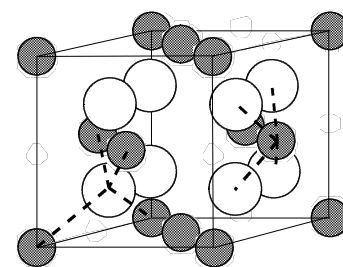
- (a) Ti^{4+} だけに着目すると、体心立方格子になっていることを確かめよ。
- (b) O^{2-} については、2個は単位立方格子の内部にあり、4個は立方格子の面上にあることを確かめよ。
- (c) 単位格子に含まれている Ti^{4+} と O^{2-} の数を示せ。
- (d) Ti^{4+} , O^{2-} の配位数(Ti^{4+} の場合には、直接結合している O^{2-} の数)を求めよ。



《 2個, 4個, 6配位, 3配位 》

[問16] 右図はホタル石(CaF_2)の結晶構造(黒丸が Ca^{2+} , 白丸が F^-)である。

- (a) Ca^{2+} について見ると、面心立方格子になっていることを確かめよ。
- (b) 8個の F^- は単位立方格子に含まれていることを確かめよ。
- (c) 単位格子に含まれている Ca^{2+} と F^- の数を示せ。
- (d) Ca^{2+} , F^- の配位数を求めよ。



《 4個, 8個, 8配位, 4配位 》

(5) 結晶とアモルファス

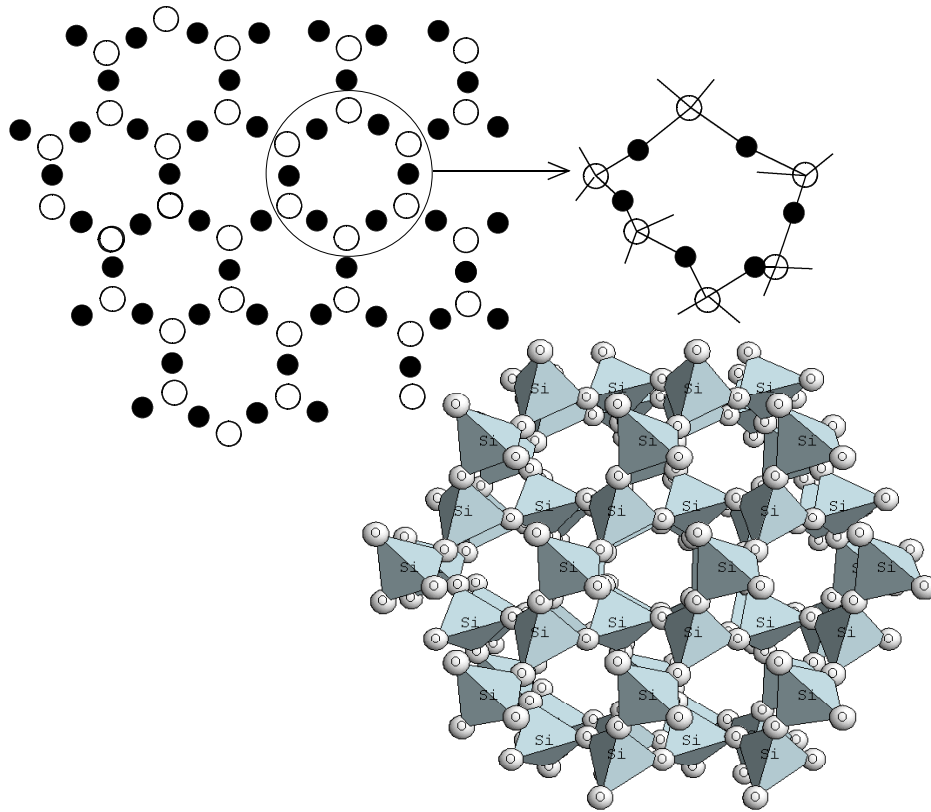


図11. 水晶 (SiO_2)

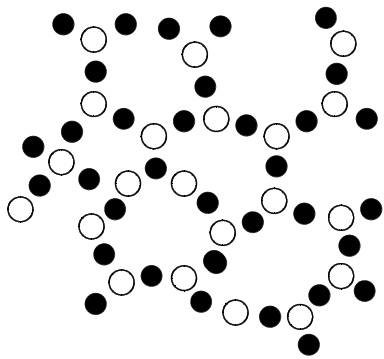


図12. SiO_2 のガラス状態 (アモルファス) (断面)

(6) 溶液

溶液 (solution), 固溶体 (solid solution), 溶質 (solute), 溶媒 (solvent)

[問17] つぎの表を, 下から選んだ項目で満たして完成せよ。ただし, 「-」部分は, 空欄でよい。

		溶 媒		
		固体	液体	気体
溶 質	固体			-
	液体	-		-
	気体			

- (a) 水素分子と水素吸蔵合金との関係
- (b) 95%エタノール
- (c) 空気
- (d) 海水
- (e) 炭酸水
- (f) 黄銅(真鍮)

(7) 水溶液

水和, 水和イオン

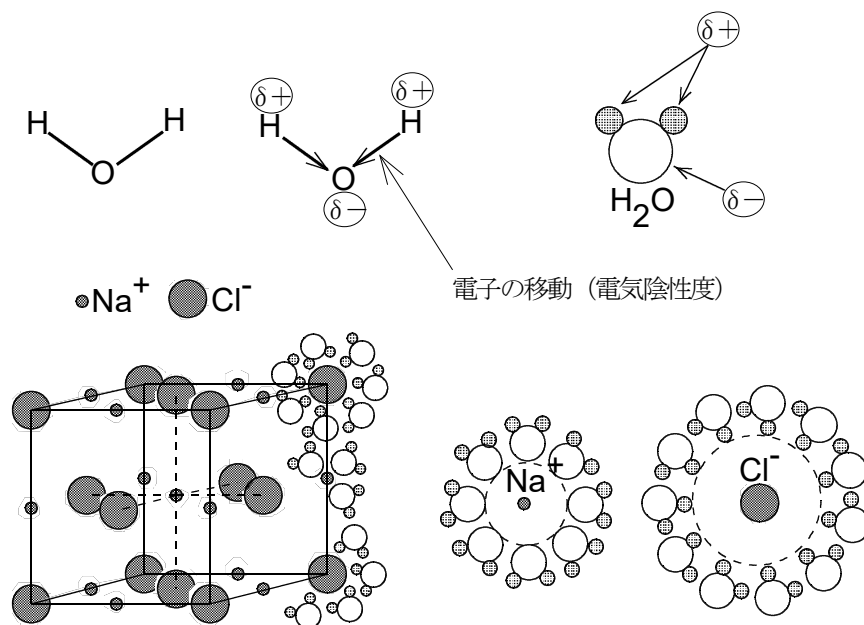


図 13. 水和と水和イオン

(8) モル濃度

容量モル濃度 (molarity), mol/L, M (溶液 1 L に溶けている溶質の量で表わした濃度)

重量モル濃度 (molality), mol/kg (溶媒 1 kg に溶けている溶質の量で表わした濃度)

[問 18] 容量モル濃度を求めよ。(原子量 H=1.01, O=16.00, Na=22.99, Cl=35.45)

- (a) 4.84 g の HCl が溶けている 500 mL の溶液 (b) 116.5 g の NaOH が溶けている 6 L の溶液
 《 0.2655 mol/L, 0.4855 mol/L 》

[問 19] 重量モル濃度を求めよ。(原子量 H=1.01, N=14.01, Na=22.99, Cl=35.45)

- (a) 250 g の水に, 1.24 g の NaCl を溶かした溶液 (b) 300 g の水に, 4.80 g の NH₃ を溶かした溶液
 《 0.08487 mol/kg, 0.9395 mol/kg 》

[問 20] 3.59% の塩化水素(HCl)を含む水溶液(密度: 1.0161 g/cm³)の容量モル濃度と重量モル濃度を求めよ。(原子量 H=1.01, Cl=35.45) 《 1.000 mol/L, 1.021 mol/kg 》

[問 21] 11.83% の硝酸(HNO₃)を含む水溶液(密度: 1.0651 g/cm³)の容量モル濃度と重量モル濃度を求めよ。(原子量 H=1.01, N=14.01, O=16.00) 《 1.999 mol/L, 2.129 mol/kg 》

(9) イオン強度

イオン強度 (ionic strength)

$$I = \frac{1}{2} \sum_i \{m_i (z_i)^2\} \dots\dots (2)$$

[問 22] つぎの溶液のイオン強度 I を求めよ。

- (a) 0.1 mol/kg NaCl (b) 0.1 mol/kg Na₂SO₄
 (c) 0.1 mol/kg Na₃PO₄ (d) 0.1 mol/kg CaCl₂
 (e) 0.1 mol/kg MgSO₄ + 0.1 mol/kg MgCl₂
 《 0.1 mol/kg, 0.3 mol/kg, 0.6 mol/kg, 0.3 mol/kg, 0.7 mol/kg 》