

# 化学Ⅱ 2015年10月～2016年2月

水曜日1時間目121M講義室

第1回 10月7日

第5章 結晶の構造

結晶構造, 単位格子, 金属結晶

第8回目は中間試験ですが, 11月25日ではなく, 11月20日金曜日3時間目の補講枠を使ってK110教室で試験を行います。  
したがって, 11月25日(水)1時間目は授業がありません。

担当教員: 福井大学大学院工学研究科生物応用化学専攻

前田史郎

E-mail: smaeda@u-fukui.ac.jp

URL: <http://acbio2.acbio.u-fukui.ac.jp/phychem/maeda/kougi>

教科書: 乾ら, 「化学, 物質の構造・性質および反応」、化学同人  
前田は前半を担当し5・6章を解説する

1

化学Ⅰの内容に引き続き, 以下の項目を講義し, 第8回目に中間テスト, 第16回目に期末テストを実施する。

担当教員: 前田史郎

第1回 単位格子, 金属結晶

第2回 共有結晶, 分子結晶

第3回 格子欠陥, 半導体

第4回 気体(気体分子運動論, 気体の液化)

第5回 液体, 固体—気体平衡と状態変化

第6回 自由エネルギー, エンタルピーおよびエントロピー

第7回 溶液(非電解質溶液, 電解質溶液)

第8回 中間テスト(11月20日金曜日3時間目K110教室)

担当教員: 久田研次

第9回 化学平衡(1)—平衡状態—

第10回 化学平衡(2)—酸と塩基—

第11回 酸化と還元(1)—可逆電池と可逆電極—

第12回 酸化と還元(2)—電池の起電力と平衡定数—

第13回 化学反応(1)—化学反応の種類—

第14回 化学反応(2)—反応速度と温度—

第15回 化学反応(3)—連鎖反応—

第16回 期末テスト

## 出席について

前半7回は, 出席管理システムを利用しますので, 学生証を忘れずに持って来て, 授業開始前にカードリーダーに通して下さい。出席管理システムと授業終了前の小テストの両方で出席を確認します。45分以上の遅刻は2回で1回の欠席, 60分以上の遅刻は欠席とします。万一, 学生証がない場合は, 授業当日に教員に申し出て下さい。授業日以降に出席を申告しても認めません。小テストに「学生証を忘れた」と書いてあっても欠席扱いにします。私語などで授業中に注意を受けた場合, 2回, 4回, 6回で最高40点, 35点, 30点の評価とします。小テストを複数枚提出する, 他人の学生証をカードリーダーに通すなどの不正が見つかれば, 1回で不合格とします。

評価の方法(前半7回分)

評価は, 試験(70%)と小テスト(30%)によって行う。小テストは採点する。

評価に占める出席の割合: 0%。出席するのが当然である。前半と後半の15回のうち, 5回以上欠席すると大学の規定により不可となる。

3

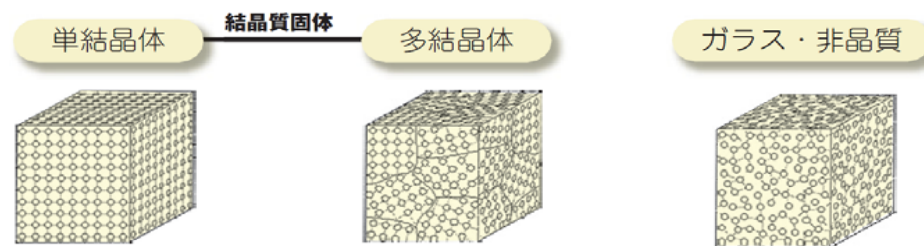
小テストは授業時間を使って実施します。採点しますので, 他の人と相談したり, 解答を写したりしないで下さい。解答出来た人も, 授業時間中は静かにして下さい。騒がしい人は, 他の人の迷惑になりますので, 注意します。

授業時間の最初しかいない, 最後しかいない, 途中で無断退席する人は欠席と見なします。

小テストの記述が他の人と全く同じ, あるいは一部を変更しただけでほぼ同じである場合は全員0点とします。多数の解答を採点するので見逃す場合もあり得ますが, 見付けたものは処分します。また, 小テストを複数枚提出するなど, 何らかの不正が認められた場合, 前半部分の評価を0点とします(化学Ⅱは不合格になります)。

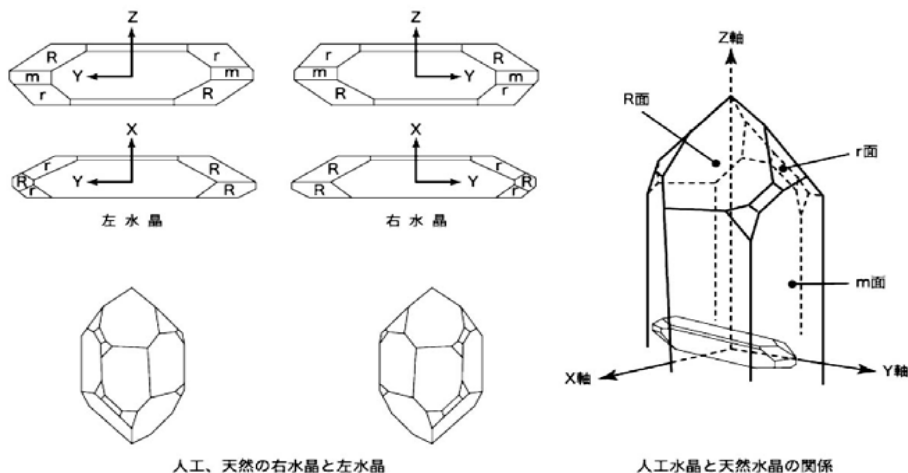
固体では、多くの場合それを構成する原子、分子あるいはイオンなどの粒子が規則正しく配列している。そのため外形も固有の角度で交わる面によって取り囲まれている場合が多い。このような固体を結晶という。このほか、固体には結晶と違って規則正しい粒子の配列の見られない非結晶性固体(ガラス、プラスチックなど)もあるが、本章では各種の代表的な結晶に焦点を合わせて学ぶ。

固体 { 結晶 : 構成している原子、分子あるいはイオンなどの粒子が規則正しく配列している  
非晶性固体: 規則正しい粒子の配列が見られない



- 「**ガラス・非晶質(アモルファス)**」: 原子の並びが、周期性や広い範囲での規則性をもたない固体。
- 「**結晶質固体**」: 原子が、広い範囲を規則正しく一定の周期で配列している固体。単結晶体と多結晶体があります。
  - 単結晶体**: 端から端まで、構成原子が規則正しく並んでいる固体。
  - 多結晶体**: 細かい単結晶の粒が集まってできている固体。粉体を焼き固めることによってできる多結晶体は、特に「**焼結体**」と呼ばれる(セラミックス)。

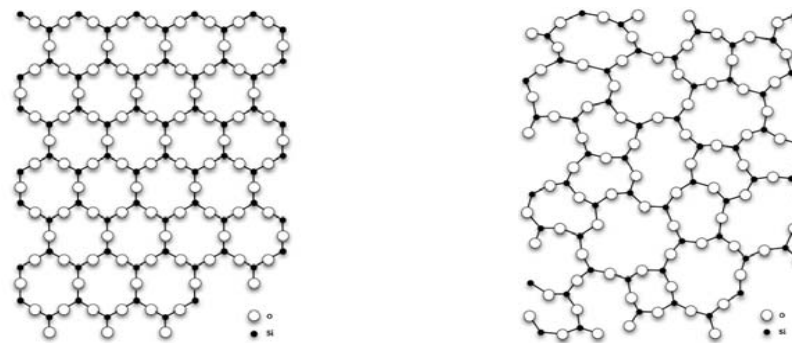
二酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)の結晶(crystal quartz): 右水晶と左水晶



[http://www.ndk.com/jp/products/app/sq\\_001.html](http://www.ndk.com/jp/products/app/sq_001.html)  
日本電波工業(株)ホームページ

人工水晶は一般に右水晶が用いられる。

ガラスの構造



石英(水晶)

石英ガラス

石英(SiO<sub>2</sub>)では、ケイ素(Si)原子と酸素(O)原子とが六角形に並んだ構造をしている。石英の結晶である水晶は六角形である。石英ガラスは石英を熔融して冷やしたもので、六角形の結晶構造は崩れているが網目構造は維持されている。石英ガラスはアモルファス固体である。



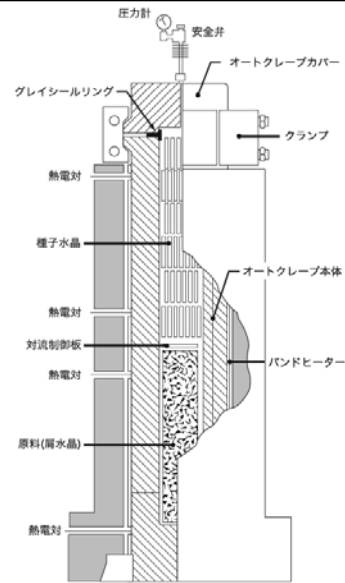
### 人工水晶と水晶振動子デバイス

(京セラホームページ)



### 厚さ1mmの種結晶

(日経テクノロジーオンライン  
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20060707/118942/>)



### 人工水晶製造用オートクレープ

(日本電波工業ホームページ)



### オートクレープで製造した人工水晶

(日経テクノロジーオンライン)

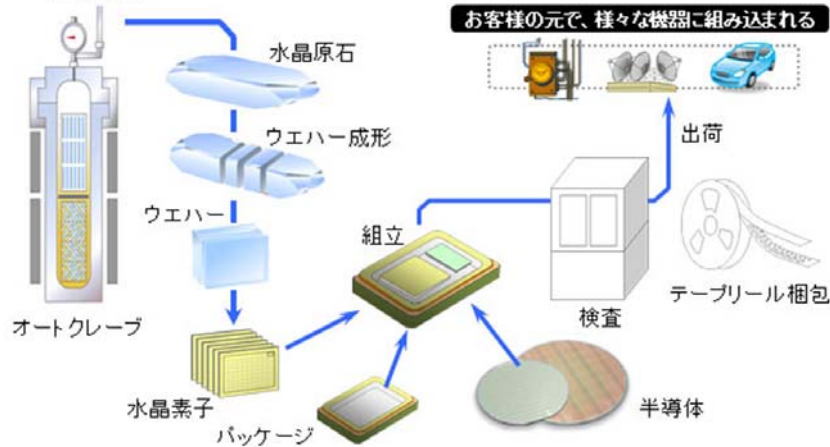


### 人工水晶の拡大写真

(日経テクノロジーオンライン)

### ◆ 水晶デバイスができるまで

水晶デバイスに必要な原石や半導体を保有することで、高品質な製品を安定的に供給することができます。



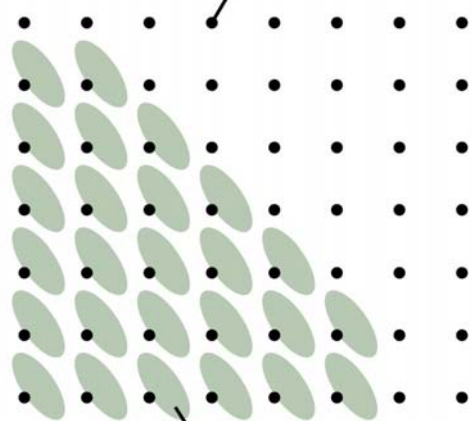
(EPSONホームページ [http://www.epson.jp/technology/topics/201310\\_2.htm](http://www.epson.jp/technology/topics/201310_2.htm))

### 5.1 結晶構造の研究法

結晶は規則的に繰り返す“構造の要素”からできていて、この構造の要素は原子であったり、分子であったり、原子、分子、あるいはイオンの集団であったりする。原子やイオンは結晶内部の空間で規則正しく所定の位置、すなわち格子点を占めている。空間格子は、これらの図形の位置を表す点で構成される図形である。空間格子は点が三次元的に無限に配列したものであり、これらの点はそれぞれ隣接する点によって全く同じ仕方で囲まれていて、結晶の基本構造を決めている。空間格子は、X線結晶構造解析で明らかにされる。

格子点  
Lattice point

アトキンス物理化学第8版 図20・1  
各格子点は、構造の要素(たとえば、分子あるいは分子の集合)を指定する。結晶構造は格子点が並んだものである。



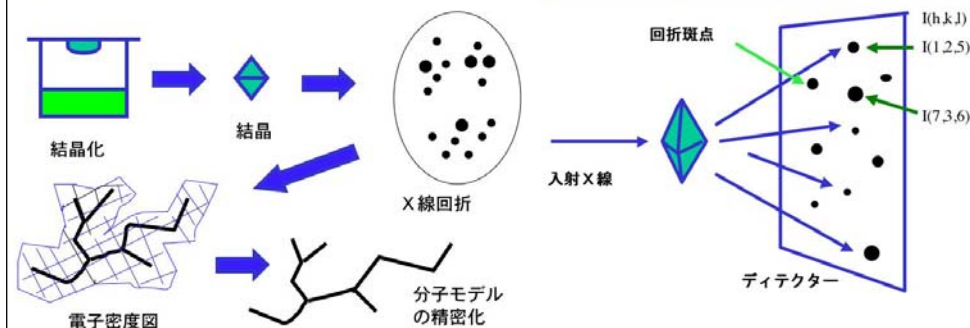
Structural motif  
構造の要素

Figure 20-1  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

結晶にX線を照射すると、結晶内部の規則的な原子の配列によって、X線はそのまま直進したり回折されたりする。回折された結果を写真フィルムにとると、その結晶特有のパターンを持った斑点が得られる。

蛋白質結晶解析のプロセス

結晶によるX線の回折

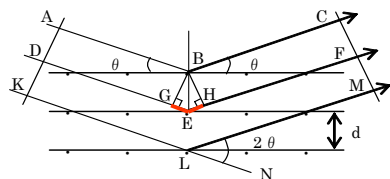


(大阪大学蛋白質研究所 [http://www.protein.osaka-u.ac.jp/rcsf/p/kusunoki/protein\\_crystallography/process.jpg](http://www.protein.osaka-u.ac.jp/rcsf/p/kusunoki/protein_crystallography/process.jpg))

結晶にX線を照射すると、結晶内部の規則的な原子の配列によって、X線はそのまま直進したり回折されたりする。回折された結果を写真フィルムにとると、その結晶特有のパターンを持った斑点が得られる。斑点が現れる角度から、次のBragg式によって平行な原子網面間の距離が求まる。

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

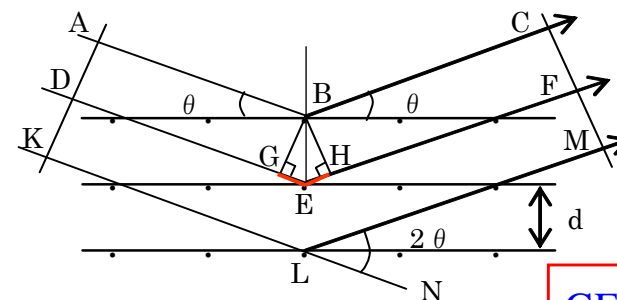
ここで、nは正の整数、λはX線の波長、θは視射角、dは平行原子網面間の垂直距離である。



X線回折の原理  
BG, BH は、B から DE, EF に下した垂線

ブラッグの法則

隣接する2枚の格子面による同じ波長の2本の平行光線の反射を考えよう。2本の光線の正味の光路長は距離GE+EHだけ異なる。光路長が波長の整数倍のとき、波の位相が揃って強め合う干渉を起こす。



X線回折の原理

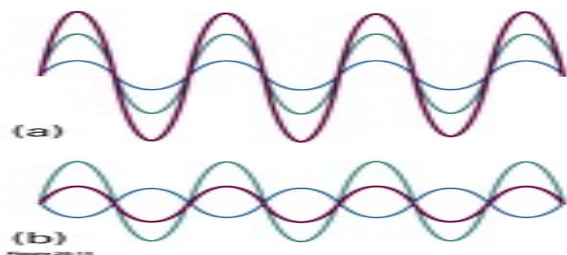
BG, BH は、B から DE, EF に下した垂線

$$GE + EH = 2d \sin \theta$$

## 波の干渉

波の特性は互いに干渉し合うことである。同じ波長の波の位相が揃っていると強め合う干渉を起こし、位相がずれていると弱め合う干渉を起こす。

回折の現象は、波の通路にある物体によって引き起こされる現象であって、それから生じる強度変化の様相を回折図形という。回折は、回折を起こす対象物の大きさが放射線の波長と同じくらいのときに起こる。



同じ波長の2つの波の干渉: (a)強め合う干渉, (b)弱め合う干渉

アトキンス物理化学第8版 図20・13

17

## Braggの回折条件(X線回折におけるBraggの条件)

74

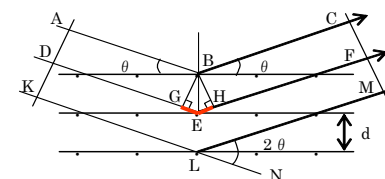
散乱X線が強め合う条件は、

“X線の行路差(光路差) = X線の波長の整数倍”

$$\text{行路差 } GE+EH=2d\sin\theta \cdots \textcircled{1}$$

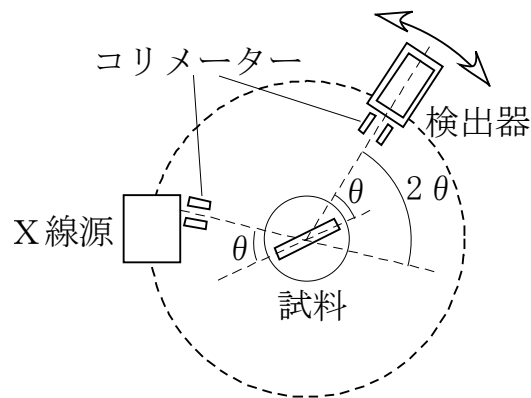
入射X線の波長を $\lambda$ とすると、①式より

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (n \text{ は正整数, 回折の次数})$$



X線回折の原理  
BG, BH は、B から DE, EF に下した垂線

18



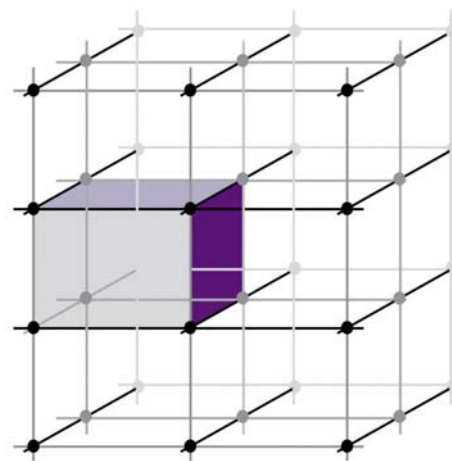
XRD (X-ray diffraction, X線回折) 装置と装置模式図

19

## 5.2 単位格子

74

結晶の内部構造はある最小の構造単位の繰り返しからできている。この最小の構造単位を単位格子(unit cell)という。



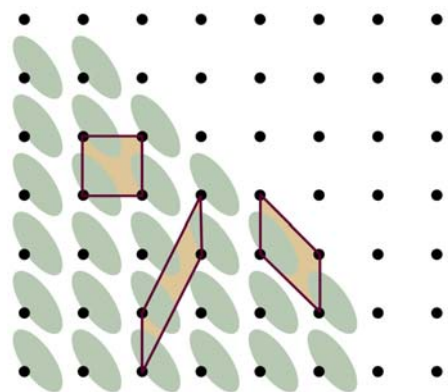
アトキンス物理化学第8版  
図20・2

**単位格子**は平行四辺形の形をしていて(直角である必要はない), それから**並進だけを使って結晶構造全体を作り上げることができる。**

Figure 20-2  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

20

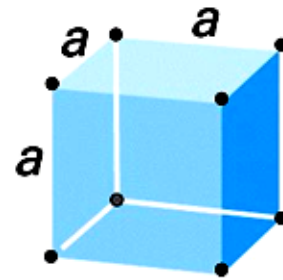
単位格子は仮想的な平行六面体(平行な面からなる図形)であって、並進によって繰り返される図形の一単位を含む。単位格子は、(壁を構成するレンガのような)基本的な単位であって、これから並進の変位だけによって結晶全体が形成されるものと考えることができる。単位格子は、ふつつ隣り合う格子点を直線で結んでつくる。



アトキンス物理化学第8版 図20・3  
 単位格子は、ここに示したようにいろいろな仕方を選ぶ。格子のすべての対称を表す単位格子を選ぶ約束になっている。この図の直角格子では、直角の単位格子を採用するのが普通である。

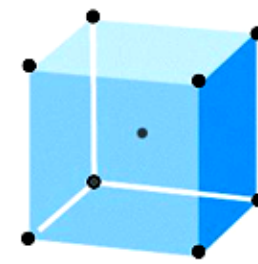
Figure 20-3  
 Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
 © 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

隣り合う格子点を直線で結んでつくれた単位格子を**単純単位格子**という。場合によっては、中心に格子点がある(**体心単位格子**)、または二つの相対する面上にも格子点がある(**面心単位格子**)。



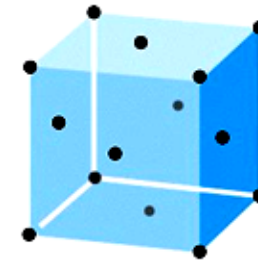
Cubic P

単純単位格子(P)



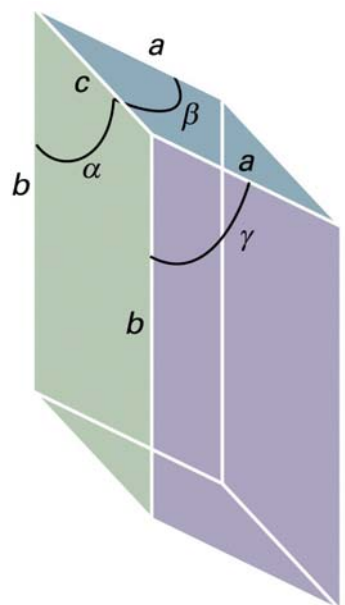
Cubic I

体心単位格子(I)



Cubic F

面心単位格子(F)



アトキンス物理化学第8版 図20・4

無限個の異なる単位格子によって同じ格子を示すことができるが、ふつつは**辺が最も短く、また辺同士が互いにできるだけ垂直に近くなるものを選ぶ**。単位格子の辺の長さを  $a, b, c$  で表し、それらの間の角度を  $\alpha, \beta, \gamma$  で表す。

単位格子の辺と角度の表し方。角度  $\alpha$  は  $b$  軸と  $c$  軸がなす角度である。

$$a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$$

$$\gamma \quad \alpha \quad \beta$$

Figure 20-4  
 Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
 © 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

### ○結晶系

単位格子は、**回転対称性に注目して、七つの結晶系に分類される**。たとえば、立方単位胞は四面体配列で3回軸を4本持っている。単斜単位格子は2回軸を1本持つ。この主軸は申し合わせによって  $b$  軸にとる。三斜単位格子は、回転対称を持たず、一般に三つの辺と三つの角度が異なっている。

- 七つの結晶系**
- |      |          |      |
|------|----------|------|
| 三斜晶系 | 三方(菱面)晶系 | 立方晶系 |
| 単斜晶系 | 正方晶系     |      |
| 斜方晶系 | 六方晶系     |      |

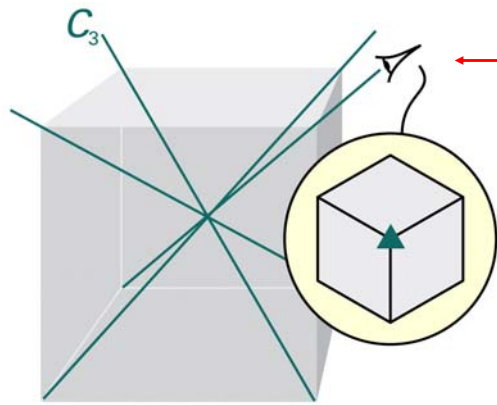


Figure 20-5  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

この不思議な図形は人の“目”です。立方体の頂点から、相対する頂点へ結んだ直線が3回回転軸、つまり120度(360/3=120)回転させると元の図形と重なる軸です。

アトキンス物理化学第8版 図20・5 立方晶系に属する単位格子には、正四面体的に配列した4本の3回回転軸がある。3回軸を $C_3$ で表す。挿入図は3回対称を表す。

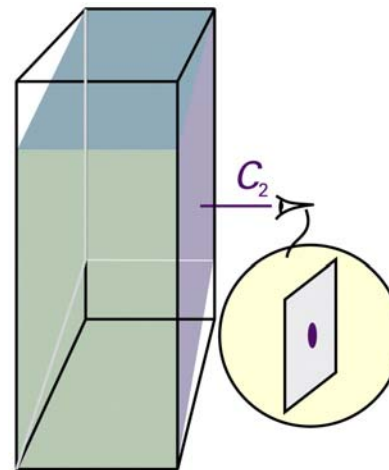


Figure 20-6  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

図20・6 単斜晶系に属する単位格子は、2回回転軸を1本持つ。

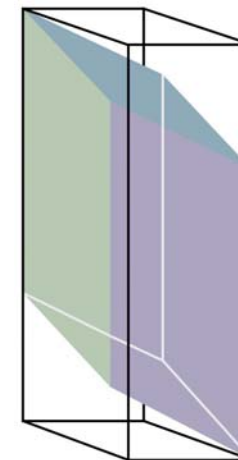


Figure 20-7  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

図20・7 三斜晶系に属する単位格子は、回転対称性をもっていない。

## ブラベ格子

三次元では、7つの結晶系と4つの単位格子の組み合わせによる異なる空間格子は14個(ブラベ格子)しかない。

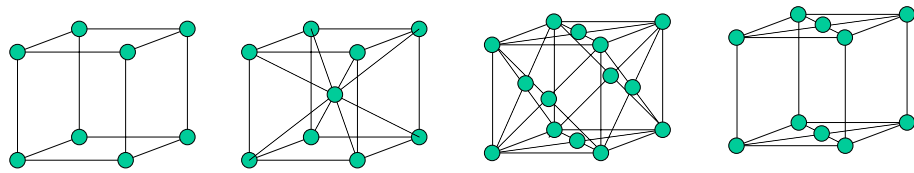
**単純単位格子(P)**は頂点にだけ格子点を持つ。

**体心単位格子(I)**は、その中心にも格子点を持つ。

**面心単位格子(F)**は、頂点と六つの面の中心に格子点を持つ。

**底面心単位格子(A, BまたはC)**は頂点と二つの相対する面の中心に格子点を持つ。

単純(単位)格子以外を複合(単位)格子と呼ぶことがある。



単純単位格子 体心単位格子 面心単位格子 底面心単位格子 27

結晶系	格子軸の特徴	対称性 (右図の左から順に)	ブラベ単位格子
三斜晶系 Triclinic	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ 単純	単純格子	
単斜晶系 Monoclinic	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$ 単純+底心	単純格子 底心格子	
斜方晶系 Orthorhombic	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 単純+底心 +面心+体心	単純格子 体心格子 底心格子 面心格子	
正方晶系 Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 単純+体心	単純格子 体心格子	
六方晶系 Hexagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ 単純	単純格子	
三方晶系 (菱面体晶系) Rhombohedral (Trigonal)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma < 120^\circ \neq 90^\circ$ 単純	単純格子	
立方晶系 Cubic	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 単純+体心+面心	単純格子 体心格子 面心格子	

単位格子:  
3つの長さ(a, b, c)と  
3つの角度(α, β, γ)で規定される

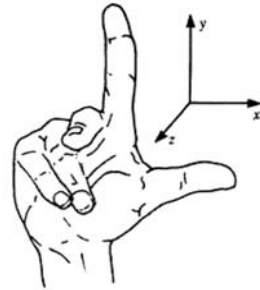
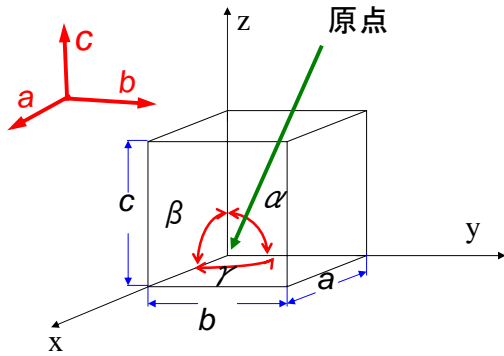


FIGURE 1.28 The right-handed rule for labelling axes.

通常、右手系座標を用いる

SOLID STATE CHEMISTRY, L. E. Smart and E. A. Moore, CRC Press, 2005.

- $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ⇨ 立方晶
- $a \neq b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ⇨ 正方晶
- $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ⇨ 斜方晶

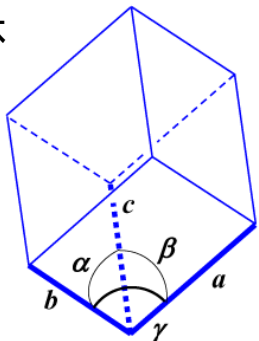
7晶系と14種類のブラベ格子

晶系	単位格子	対称	格子定数と角度
立方晶系	P, I, F	$C_3$ 軸4本	$a=b=c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
正方晶系	P, I	$C_4$ 軸1本	$a=b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
斜方晶系	P, C, I, F	$C_2$ 軸3本	$a \neq b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
単斜晶系	P, C	$C_2$ 軸1本	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$
三斜晶系	P	なし	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \gamma \neq \beta \neq 90^\circ$
六方晶系	P	$C_6$ 軸1本	$a=b \neq c, \alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$
三方晶系 (菱面体晶系)	P(R)	$C_3$ 軸1本	$a=b=c, \alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$ ( $a=b \neq c, \alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$ )

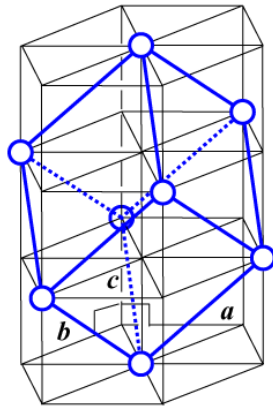
P: 単純格子  
I: 体心格子  
F: 面心格子  
C: 底心格子

(注) 三方晶系(菱面体晶系)は六方格子(六方晶系)で記述することもできる。詳細は2年前期の「無機化学」で取り扱う。

菱面体



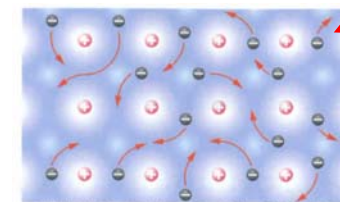
$a=b=c, \alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$



単位格子はもっともみかけの対称性が高く、その中でもっとも小さい格子がとられる。ただし、この基本にこだわらなければ、単位格子の取り方には無限の任意性がある。菱面体晶系に属する結晶では、六方格子軸と三方格子軸のどちらも取れる。ただし、両者は同じではない(三方晶には6回対称軸がない)。

5.4 金属結晶

金属結晶の格子点は最外殻電子を失った金属原子の陽イオンで占められ、最外殻電子は特定の原子間にとどまらず、広く結晶全体を自由に動き回って陽イオンどうしを結びつけている。金属結合は共有結合の特殊な形と考えることができる。通常の共有結合と異なるのは、無数の原子が結合していることと、結合にかかわる電子が特定の原子間に存在するのではなく、多数の原子内に共有されており、自由に動ける(自由電子)という点である。



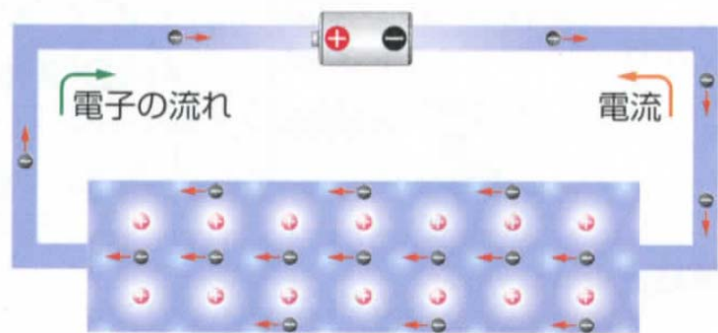
●は自由電子を表し、金属全体を移動する。

図30 金属中の結合

自由電子



金属線に電圧をかけると自由電子は電源装置の+極に引っ張られて移動する。金属線を通る電流は、この自由電子の移動である。電子の流れの方向と電流の方向が逆になっているのは、電子が発見される前に、フランクリンが「正電気と負電気」を定義したからである。



33

## 金属結晶

ほとんどの金属元素は、結晶化して三つの単純な形のうちの一つになり、そのうちの二つは、剛体球ができるだけ最密な並列になるように充填するという観点から説明できる。

### (a) 最密充填

- (1) 立方最密充填 (ccp : cubic close-packed)
- (2) 六方最密充填 (hcp : hexagonal close-packed)

### (b) 充填率の低い構造

- (3) 体心立方 (bcc : body centered packed)

## 元素の結晶構造の例

**Table 20.2** The crystal structures of some elements

Structure	Element
hcp*	Be, Cd, Co, He, Mg, Sc, Ti, Zn
fcc* (ccp, cubic F)	Ag, Al, Ar, Au, Ca, Cu, Kr, Ne, Ni, Pd, Pb, Pt, Rh, Rn, Sr, Xe
bcc (cubic I)	Ba, Cs, Cr, Fe, K, Li, Mn, Mo, Rb, Na, Ta, W, V
cubic P	Po

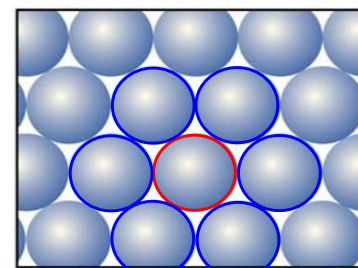
\* Close-packed structures.

六方最密充填・・・アルカリ土類金属 (Be, Mg)・12属金属 (Zn, Cdなど)

立方最密充填・・・遷移金属 (Au, Ag, Cuなど)

体心立方・・・アルカリ金属 (Na, Kなど)

Table 20-2  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula



最密充填球第1層A

平面に球を最も密に並べる方法は、○のまわりに6個の○を互いに接するように配置する1通りしかない。1層目をA層とする。

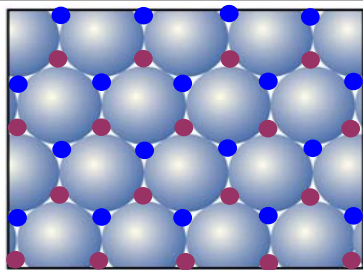


Figure 20-33  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula  
最密充填球第1層A

2層目は

● と ● の上に球を置く2通りがある。  
どちらも2層目の球の下は隙間である。

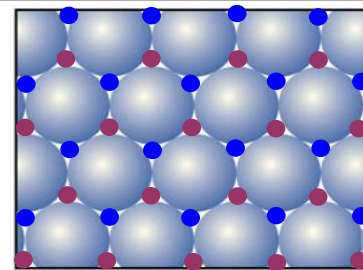


Figure 20-33  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula  
最密充填球第1層A

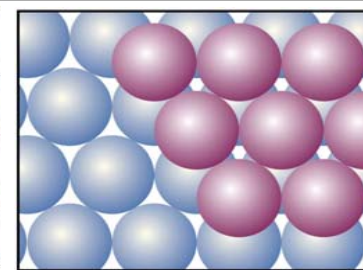
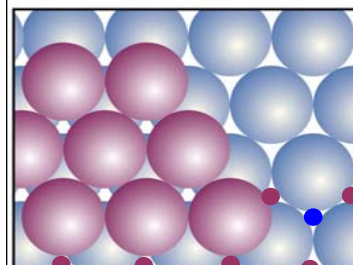


Figure 20-33  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula  
最密充填球第2層AB

● の上に球を置いたB層

180°回転



● の上に球を置いたB層

● と ● の上に球を置く2通りがある。  
しかし、180°回転させると ● の上に球を置いたものと一致するので同じ配置であり、球の下は隙間である。  
● の上に球を置いた2層目をB層とする。

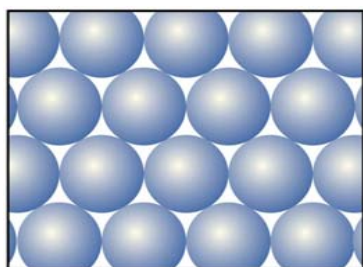


Figure 20-33  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula  
最密充填球第1層A

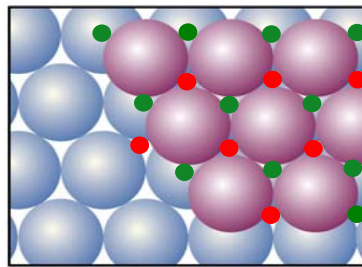


Figure 20-33  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula  
最密充填球第2層AB

3層目は ● と ● の上に乗る2通りがある。

● の下には1層目の球がある。  
● の下は隙間である。

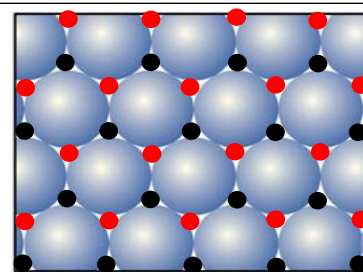


Figure 20-34  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula  
最密充填球第1層A

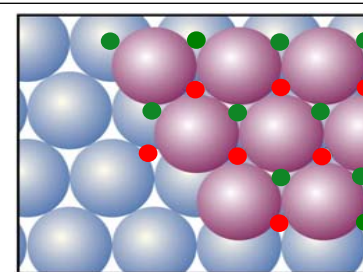
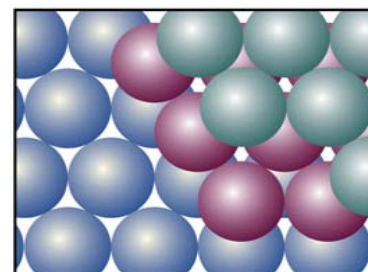
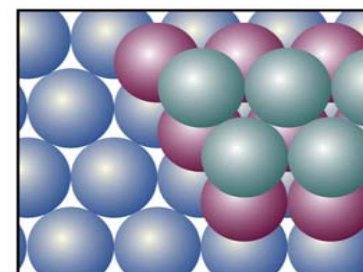


Figure 20-34  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula  
最密充填球第2層AB

3層目は ● と ● の上に乗る2通りがある。  
● の下には球がある。  
● の下は隙間。

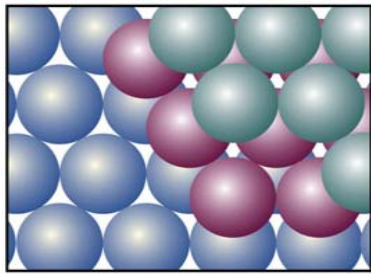


(a) 最密充填球第3層ABA  
● の上に球を置いた3層目



(b) 最密充填球第3層ABC  
● の上に球を置いた3層目

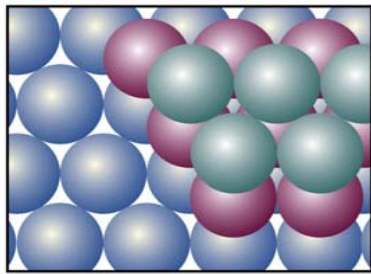
Figure 20-34  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula



(a) 最密充填球第3層ABA

Figure 20-34  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

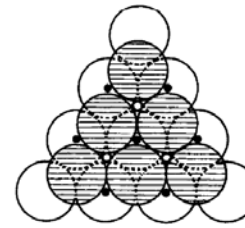
●の上に球を置いた3層目。3層目の下には1層目があるので、3層目はA層である。ABA...という重なり方をしている。この充填の方法を六方最密充填(hexagonal closest packing, hcp)という。



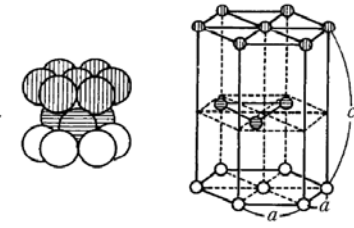
(b) 最密充填球第3層ABC

●の上に球を置いた3層目。3層目の下には球はなく、隙間がある。A層でもB層でもないの、3層目をC層とする。ABC...という重なり方をしている。この充填の方法を立方最密充填(cubic closest packing, ccp)という。

3層目は  
●と  
●の上に乗る2  
通りがある。  
●の下には  
球がある。  
●の下は隙間。



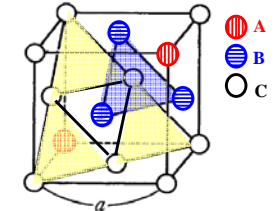
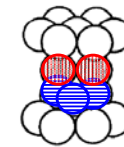
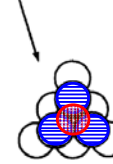
(a)  
2段目までは同じ



(b) 六方最密充填(3段目が●の上きた場合) (A,B,A,B,...)  
(3段目の位置は1段目の真上である)

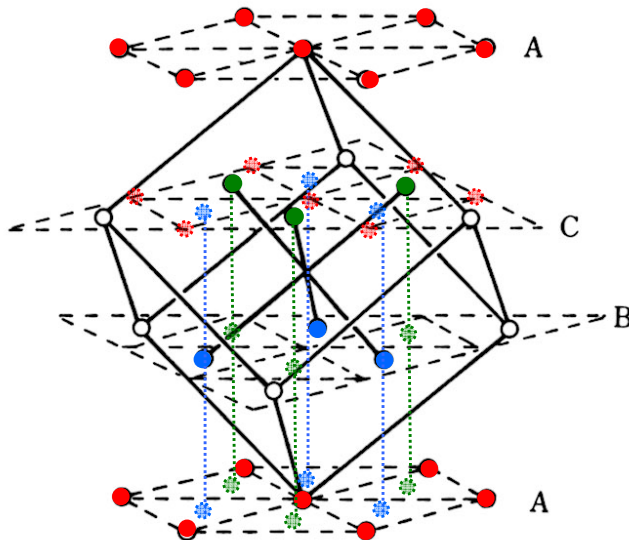
どちらの場合も充填率74.1%

C ○ : 1段目  
B ● : 2段目  
A ● : 3段目



(c) 立方最密充填(3段目が○の上きた場合) (A,B,C,A,B,C,...)  
(3段目の真下には原子がない)

六方最密充填(b)と立方最密充填(c)



立方最密充填構造と面心立方格子

A層の●と●の位置に2段目●と、3段目●の原子を積むと、ABCABC...の繰り返しである立方最密充填となる。

六方最密充填では、3段目の原子をA層の●と同じ●の位置に置くのでABAB...の繰り返しとなる。

10月7日, 学生番号, 氏名

(1) 金属結晶の立方最密充填と六方最密充填の違いを説明せよ。

(2) 本日の授業についての質問, 意見, 感想, 苦情, 改善提案などを書いてください。