คม 101 หลักเคมี 1 ปีการศึกษา 1-2561

บทที่ 5 ของแข็ง (Solid)

หัวข้อ

1. บทนำ
2. โครงสร้างผลึก
3. การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์โดยผลึก
4. ชนิดของผลึก
5. ของแข็งอสัณฐาน

1. บทนำ

- **ลักษณะทั่วไปของของแข็ง**

  - โมเลกุลของของแข็งจะถูกยึดอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนในโครงร่างผลึก
  - โมเลกุลไม่มีอิสระในการเคลื่อนที่
  - ปริมาตรว่างเปล่ามีน้อยมาก จึงไม่สามารถบีบให้ปริมาตรเล็กลงได้อีก
  - ของแข็งมีรูปร่างและปริมาตรที่แน่นอน
  - ความหนาแน่นของของแข็งมักจะมากกว่าความหนาแน่นของของเหลว ยกเว้นน้ำ (น้ำแข็งความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ)

1. บทนำ

• **เปรียบเทียบสมบัติเฉพาะของก๊าซ ของเหลว และของแข็ง**

สถานะ	ปริมาตร/รูปร่าง	ความหนาแน่น	ความสามารถในการถูกบีบให้ปริมาตรลดลง	การเคลื่อนที่ของโมเลกุล
ก๊าซ	ปริมาตรและรูปร่างไม่แน่นอน เปลี่ยนตามภาชนะบรรจุ	ต่ำ	ถูกบีบให้ปริมาตรลดลงได้ง่าย	มีอิสระในการเคลื่อนที่สูง
ของเหลว	ปริมาตรแน่นอน แต่รูปร่างเปลี่ยนตามภาชนะบรรจุ	สูง	ถูกบีบให้ปริมาตรลดลงได้เล็กน้อย	เคลื่อนที่ผ่านกันไปมาอย่างอิสระ
ของแข็ง	ปริมาตรและรูปร่างแน่อน	สูง	ไม่สามารถถูกบีบให้ปริมาตรลดลงได้	โมเลกุลสั่นสะเทือนในตำแหน่งที่แน่นอนในโครงสร้างผลึก

3

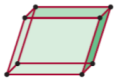
2. โครงสร้างผลึก

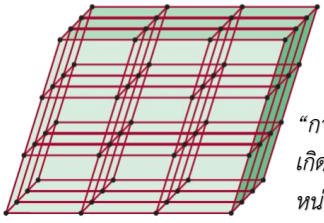
โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)

- ของแข็ง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ **ผลึกของแข็ง (crystal)** และ **ของแข็งอสัณฐาน (amorphous)**
- **ผลึกของแข็ง** → อะตอมโมเลกุลหรือไอออนอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนภายในโครงร่างผลึกเพื่อให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าสูงสุด ตัวอย่างเช่น น้ำแข็ง

  ของแข็งอสัณฐาน → จะไม่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ตัวอย่างเช่น แก้ว
- ผลึกของแข็ง ประกอบด้วยหน่วยโครงสร้างพื้นฐานที่เรียกว่า **หน่วยเซลล์ (unit cell)** แบบซ้ำๆ กัน

"หน่วยเซลล์"





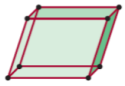
"การขยายหน่วยเซลล์ไปใน 3 มิติ เกิดจากการเรียงตัวแบบซ้ำกันของหน่วยเซลล์"

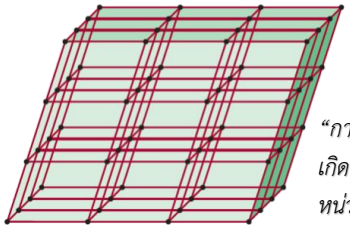
4

2. โครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)

"หน่วยเซลล์"





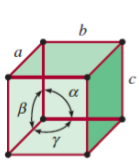
"การขยายหน่วยเซลล์ไปใน 3 มิติ เกิดจากการเรียงตัวแบบซ้ำกันของหน่วยเซลล์"

- ทรงกลมที่มุมของหน่วยเซลล์จะแทน**อะตอม ไอออน หรือโมเลกุล** เรียกว่า **จุดแลตทิซ** (lattice point)

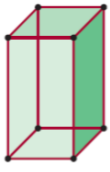
2. โครงสร้างผลึก

- ผลึกของแข็งแต่ละชนิด จะมีโครงสร้างอย่างใดอย่างหนึ่งในชนิดของหน่วยเซลล์ 7 ชนิดดังรูป

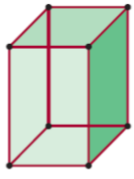
"cubic จะเป็นผลึกที่ง่ายที่สุด เพราะด้านทุกด้านมุมทุกมุมเท่ากัน"



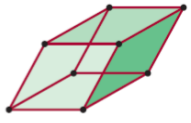
Simple cubic
$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



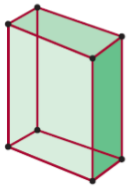
Tetragonal
$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



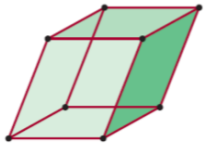
Orthorhombic
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



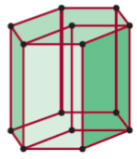
Rhombohedral
$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$



Monoclinic
$a \neq b \neq c$
$\gamma \neq \alpha = \beta = 90°$



Triclinic
$a \neq b \neq c$
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

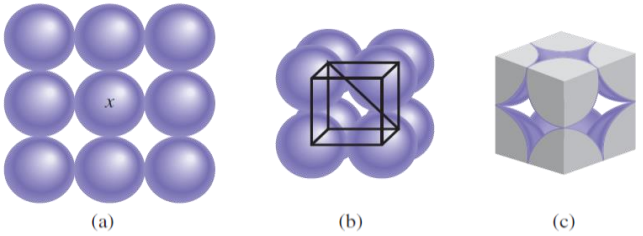


Hexagonal
$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$

2. โครงสร้างผลึก

2.1 การบรรจุทรงกลม

- การเรียงตัวของทรงกลม (ซึ่งแทนอะตอมหรือไอออนหรือโมเลกุล) เป็นชั้นๆ จะบอกถึงชนิดหน่วยเซลล์
- การเรียงตัวของทรงกลมในเซลล์แบบ **simple cubic**



(a) การเรียงของทรงกลม 1 ชั้น (มองจากด้านบน)
พบว่าถ้าเรียงชั้นของทรงกลมให้ตรงกันใน 3 มิติ แต่ละทรงกลมจะมีเลขโคออร์ดิเนชัน* เป็น 6

(b) การเรียงของหน่วยซ้ำที่เป็น **simple cubic cell, scc**

(c) การบรรจุทรงกลม 1 ลูก ลงใน scc

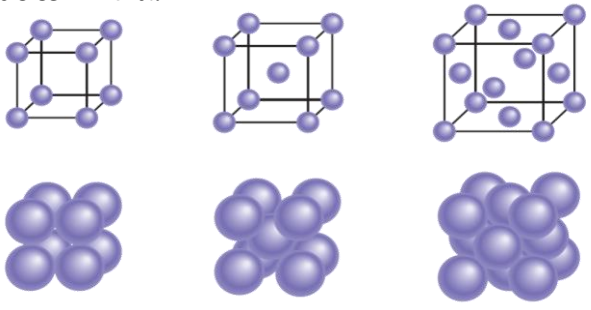
** เลขโคออร์ดิเนชัน = จำนวนของอะตอม(หรือไอออน) ที่ล้อมรอบอะตอม(หรือไอออน) ในผลึกแลตทิซ*

7

2. โครงสร้างผลึก

2.1 การบรรจุทรงกลม

ชนิดของ cubic cell ทั้ง 3 ชนิด



Simple cubic cell	Body-centered cubic cell	Face-centered cubic cell
(scc)	(bcc)	(fcc)
CN = 6	CN = 8	CN = 12
*(4+1+1)**	*(0+4+4)**	*(4+4+4)**

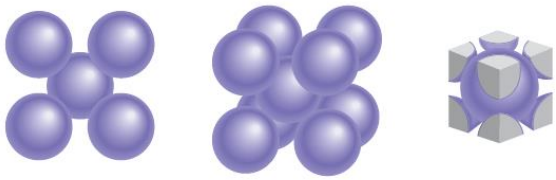
(จำนวนอะตอมที่ล้อมรอบในชั้นเดียวกัน+ชั้นบน+ชั้นล่าง)*

8

2. โครงสร้างผลึก

2.1 การบรรจุทรงกลม

body-centered cubic cell (bcc)



(a) (b) (c)

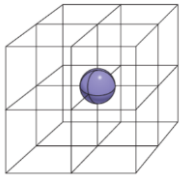
(a) ภาพจากด้านบนของ 1 ชั้นของทรงกลม

(b) หนึ่งหน่วยเซลล์ของ bcc

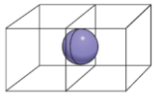
(c) การบรรจุทรงกลม 2 ลูกในหน่วยเซลล์ bcc

2. โครงสร้างผลึก

2.1 การบรรจุทรงกลม

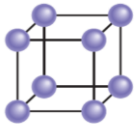


มุม-ใช้ร่วมกัน 8 หน่วยเซลล์

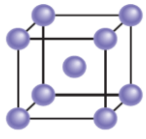


ด้าน-ใช้ร่วมกัน 2 หน่วยเซลล์

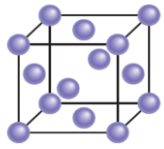
จำนวนทรงกลมใน 1 หน่วยเซลล์



scc = $\frac{1}{8}$ x 8 = 1 ลูก
มุม



bcc = ($\frac{1}{8}$ x 8) + 1 = 2 ลูก
มุม



fcc = ($\frac{1}{8}$ x 8) + ($\frac{1}{2}$ x 6) = 4 ลูก
มุม ด้าน

10

2. โครงสร้างผลึก

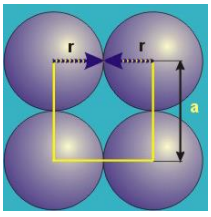
2.1 การบรรจุทรงกลม

"**ประสิทธิภาพของการบรรจุ (packing efficiency)**" --> บอกความหนาแน่นของผลึกได้

- หน่วยเซลล์แต่ละชนิดจะมีปริมาตรว่างเปล่าไม่เท่ากัน
- หา packing efficiency ในรูปของเปอร์เซ็นต์ที่ปริมาตรของเซลล์ถูกบรรจุด้วยทรงกลม

โดยที่ ***ประสิทธิภาพของการบรรจุ*** = $\frac{\text{ปริมาตรของทรงกลมภายในเซลล์}}{\text{ปริมาตรของเซลล์}}$ x 100 %

- พิจารณา **simple cubic cell (scc)**



ถ้า r =รัศมีของทรงกลม และ a = ความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์

จากรูป จะได้ว่า $a = 2r$

scc มีทรงกลมบรรจุ = 1 ลูก, ปริมาตรทรงกลม = $\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{a}{2}\right)^3$

และ ปริมาตรของหน่วยเซลล์ = a^3

11

2. โครงสร้างผลึก

2.1 การบรรจุทรงกลม

ประสิทธิภาพของการบรรจุ = $\frac{\text{ปริมาตรของทรงกลมภายในเซลล์}}{\text{ปริมาตรของเซลล์}}$ x 100 %

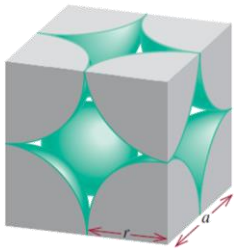
= $\frac{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{a}{2}\right)^3}{a^3}$ x 100 %

= $\frac{\pi}{6}$ x 100 % = 52.4 %

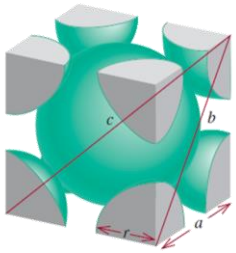
นั่นคือ ประสิทธิภาพของการบรรจุของหน่วยเซลล์ scc มีค่าเท่ากับ 52.4 %

2. โครงสร้างผลึก

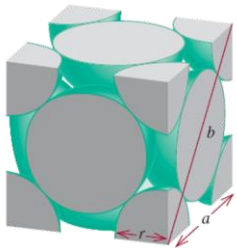
- เปรียบเทียบหน่วยเซลล์ทั้ง 3 ชนิด



scc



bcc



fcc

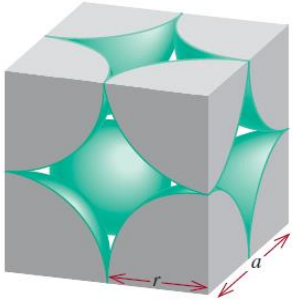
	scc	bcc	fcc
จำนวนทรงกลมต่อหน่วยเซลล์	1	2	4
เลขโคออร์ดิเนชัน	6	8	12
รัศมีอะตอม (ทรงกลม)	$\frac{a}{2}$	$\frac{a\sqrt{3}}{4}$	$\frac{a\sqrt{2}}{2}$
ประสิทธิภาพการบรรจุ	52.4 %	68.0 %	74.0 %

13

2. โครงสร้างผลึก

- ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของทรงกลม (r) และความยาวตามขอบ (a) ของหน่วยเซลล์

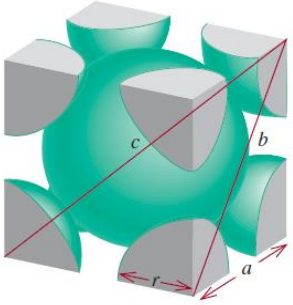
scc



scc

$a = 2r$

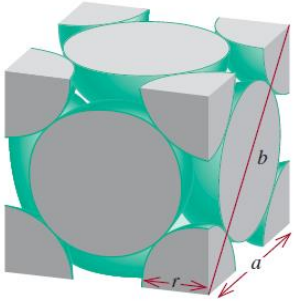
bcc



bcc

$b^2 = a^2 + a^2$
$c^2 = a^2 + b^2$
$= 3a^2$
$c = \sqrt{3}a = 4r$
$a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$

fcc



fcc

$b = 4r$
$b^2 = a^2 + a^2$
$16r^2 = 2a^2$
$a = \sqrt{8}r$

14

2. โครงสร้างผลึก

2.2 การบรรจุแบบชิดที่สุด (Closest Packing)

- เป็นการบรรจุทรงกลมในโครงร่างผลึกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

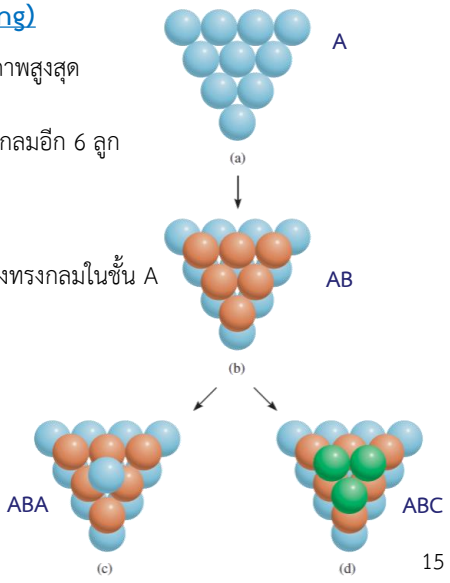
- ชั้นที่หนึ่ง **ชั้น** A ทรงกลมแต่ละลูกจะสัมผัสกับทรงกลมอีก 6 ลูก

- ชั้นที่สอง **ชั้น** B ทรงกลมวางอยู่ระหว่างช่องว่างของทรงกลมในชั้น A

- ชั้นที่สาม วางแบบชิดได้ 2 แบบ

  1) วางทรงกลมชั้นที่ 3 ให้ตรงกับทรงกลมชั้นที่ 1 จึงเรียกเป็น **ชั้น** A

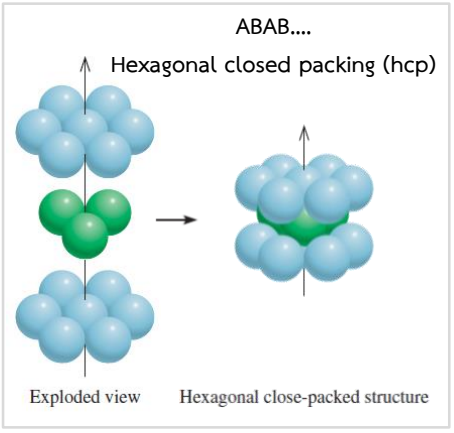
  2) วางทรงกลมชั้นที่ 3 ให้ตรงกับช่องว่างของทรงกลมชั้นที่ 2 จึงเรียกเป็น **ชั้น** C

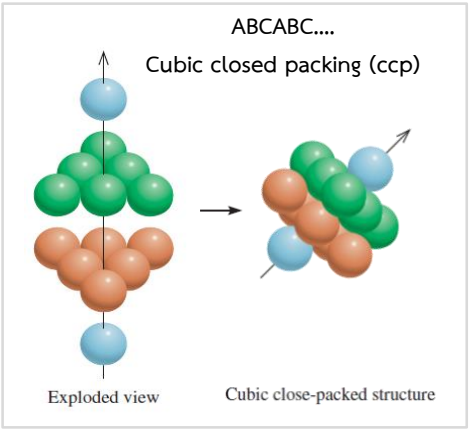


15

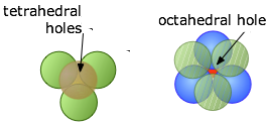
2. โครงสร้างผลึก

2.2 การบรรจุแบบชิดที่สุด (Closest Packing)





- การบรรจุแบบชิดจะทำให้เกิดช่องว่าง (holes) ได้ 2 แบบ คือ



- ประสิทธิภาพการบรรจุแบบ hcp และ ccp จะเท่ากัน คือ 74 %

16

2. โครงสร้างผลึก

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> ผลึกชนิดหนึ่งมีโครงสร้างแบบ bcc รัศมีอะตอมในผลึกเป็น 50 pm จงคำนวณ
(ก) ความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ (ข) ปริมาตรของหน่วยเซลล์

<u>วิธีทำ</u> (ก) หน่วยเซลล์แบบ bcc, $a = \frac{4}{\sqrt{3}} r = \frac{4}{\sqrt{3}} (50\ pm) = 115.47\ pm$

ดังนั้นความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์นี้ เท่ากับ 115.47 pm

(ข) ปริมาตรของหน่วยเซลล์ (V) $= a^3$

$= (115.47\ pm)^3$

$= 1.54 \times 10^6\ pm^3$

2. โครงสร้างผลึก

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> ผลึกทองคำมีโครงสร้างแบบ fcc จงคำนวณความหนาแน่นของทองคำ กำหนดรัศมีอะตอมของทองคำเป็น 144 pm

<u>วิธีทำ</u> หน่วยเซลล์แบบ fcc, $a = \sqrt{8}\, r = \sqrt{8}\,(144\ pm) = 407\ pm$

ดังนั้นความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ เท่ากับ 407 pm

ปริมาตรของหน่วยเซลล์ (V) $= a^3 = (407\ pm)^3 \left(\frac{10^{-12}\ m}{1\ pm}\right)^3 \left(\frac{1\ cm}{10^{-2}\ m}\right)^3$

$= 6.74 \times 10^{-23}\ cm^3$

เนื่องจาก หน่วยเซลล์แบบ fcc จะมีอะตอมบรรจุได้ทั้งหมด 4 อะตอม จึงมีมวลเท่ากับ

$\frac{4\ \text{อะตอม}}{1\ \text{หน่วยเซลล์}} \times \frac{197.0\ g}{1\ \text{โมล}} \times \frac{1\ \text{โมล}}{6.02 \times 10^{23}\ \text{อะตอม}} = 1.31 \times 10^{-21}\ g$

ความหนาแน่นของอะตอมทองคำ $= \frac{\text{มวลของอะตอมทองคำในหน่วยเซลล์ (4 อะตอม)}}{\text{ปริมาตรของหน่วยเซลล์}}$

$d = \frac{m}{V} = \frac{1.31 \times 10^{-21}\ g}{6.74 \times 10^{-23}\ cm^3} = 19.4\ g/cm^3$

2. โครงสร้างผลึก

ตัวอย่างที่ 3 โลหะเงินมีความหนาแน่น 10.5 g/cm^3 ผลึกมีความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์เท่ากับ 0.41 nm จงหาจำนวนอะตอมที่มีในหน่วยเซลล์

วิธีทำ ปริมาตรของหน่วยเซลล์ (V) = a^3 = $(0.41\ nm)^3 \left(\frac{10^{-9}\ m}{1\ nm}\right)^3 \left(\frac{1\ cm}{10^{-2}\ m}\right)^3$

= 6.89×10^{-23} cm^3

เนื่องจาก ความหนาแน่น = $\frac{\text{มวลของอะตอมเงินทั้งหมดในหน่วยเซลล์}}{\text{ปริมาตรของหน่วยเซลล์}}$

แทนค่า $10.5\ g/cm^3 = \frac{\text{มวลของอะตอมเงินทั้งหมดในหน่วยเซลล์}}{6.89 \times 10^{-23}\ cm^3}$

มวลของอะตอมเงินทั้งหมดในหน่วยเซลล์ = $(10.5\ \frac{g}{cm^3})(6.89 \times 10^{-23}\ cm^3)$

= 7.23×10^{-22} g

2. โครงสร้างผลึก

ตัวอย่างที่ 3 (ต่อ)

วิธีทำ (ต่อ)

มวลอะตอมของเงิน เท่ากับ 108 g/mol

นั่นคือ มวลของโลหะเงิน 108 g เป็นมวลของอะตอมเงิน 6.02×10^{23} อะตอม (1 โมล)

ดังนั้น มวล 7.23×10^{-22} g จะเป็นมวลของอะตอมเงินจำนวน

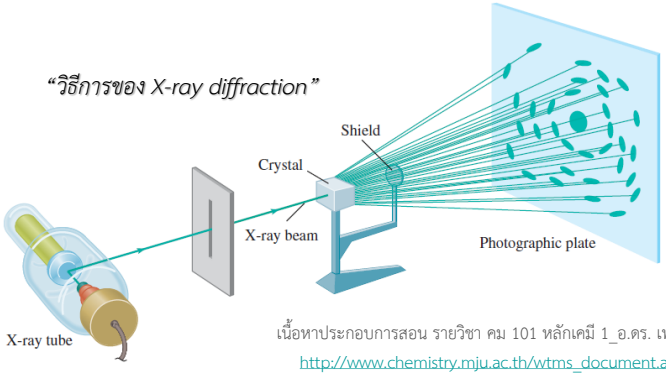
= $\frac{\left(6.02 \times 10^{23}\ \frac{atom}{mol}\right)\left(7.23 \times 10^{-22}\ \frac{g}{unit\ cell}\right)}{108\ \frac{g}{mol}}$

= 4 atom/unit cell

3. การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์โดยผลึก

- **การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction)** หมายถึง กระบวนการที่หน่วยต่างๆ ในผลึกของของแข็งเกิดการสะท้อนรังสีเอ็กซ์ที่มาตกกระทบ
- ปี ค.ศ. 1919 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน คือ Max von Laue เสนอว่า
  - รังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับระยะห่างระหว่างจุดแลตทิซ (lattice point) ในผลึก จึงสามารถสะท้อนรังสีเอ็กซ์ได้
  - X-ray diffraction pattern เป็นผลการกระจายรังสีเอ็กซ์จากอะตอมต่างๆ ในผลึกบนแผ่นฟิล์ม ดังรูป

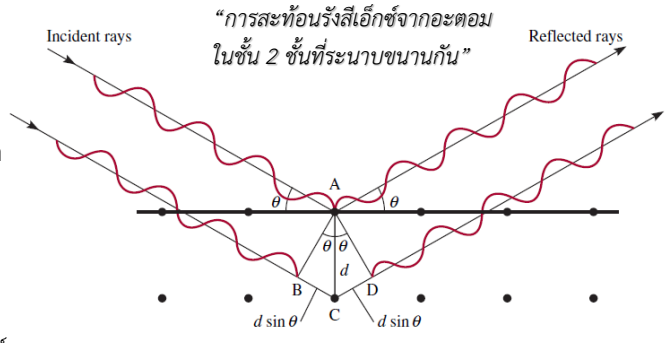
"วิธีการของ X-ray diffraction"



3. การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์โดยผลึก

- รังสีเอ็กซ์ตกกระทบ 2 รังสีเสริมกัน
- คลื่นบนจะถูกกระจายหรือสะท้อนโดยอะตอมในชั้นแรก
- คลื่นล่างจะถูกกระจายหรือสะท้อนโดยอะตอมในชั้นที่ 2 เพื่อให้รังสะท้อนเสริมกันอีก

"การสะท้อนรังสีเอ็กซ์จากอะตอมในชั้น 2 ชั้นที่ระนาบขนานกัน"



- จากรูป จะได้ความสัมพันธ์

$$BC + CD = 2d \sin\theta = n\lambda$$

โดยที่ n = 1, 2, 3, 4,.....

d = ระยะทางระหว่างระนาบที่อยู่ถัดกัน

θ = มุมที่รังสีเอ็กซ์ทำกับระนาบของผลึก λ = ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

22

3. การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์โดยผลึก

- จากความสัมพันธ์

$$2d \sin\theta = n\lambda \qquad \text{เมื่อ } n = 1,2,3,\ldots\ldots$$

สมการนี้เรียกว่า สมการของ Bragg (Bragg's equation) ตามชื่อของ William H.Bragg และ Sir William L.Bragg นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ

ตัวอย่างที่ 4 เมื่อผ่านรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่น 0.154 nm บนผลึกของอะลูมิเนียม จะเกิดการสะท้อนของรังสีด้วยมุม 19.3° ถ้าสมมุติว่า n = 1 จงคำนวณระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมอะลูมิเนียม (ในหน่วย pm) ที่เกี่ยวข้องกับมุมสะท้อนนี้ (กำหนด 1 nm = 1000 pm)

วิธีทำ จากสมการ $d = \dfrac{n\lambda}{2\sin\theta} = \dfrac{\lambda}{2\sin\theta}$

$$= \frac{0.154\ nm \times \frac{1000\ pm}{1\ nm}}{2\sin 19.3^{o}}$$

$$= 233 \text{ pm}$$

23

4. ชนิดของผลึก

- เราสามารถแบ่งชนิดของผลึกตามแรงยึดเหนี่ยวอนุภาคต่างๆ ได้ 4 ชนิด คือ **ผลึกไอออนิก ผลึกโควาเลนท์ ผลึกโมเลกูลาร์ และผลึกเมทัลลิก**
- ตารางเปรียบเทียบชนิดของผลึกและสมบัติทั่วไป

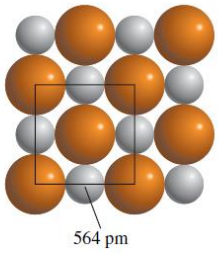
ชนิดของผลึก	แรงที่ยึดอนุภาค	สมบัติทั่วไป	ตัวอย่าง
ไอออนิก	แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์	แข็ง เปราะ จุดหลอมเหลวสูง นำไฟฟ้า นำความร้อนต่ำ	NaCl, LiF, MgO, $CaCO_3$
โควาเลนท์	พันธะโคเวเลนท์	แข็ง จุดหลอมเหลวสูง นำไฟฟ้า นำความร้อนต่ำ	C (เพชร), SiO_2 (ควอทซ์)
โมเลกูลาร์	แรงดิสเพอร์ชัน แรงไดโพล-ไดโพล พันธะไฮโดรเจน	อ่อน จุดหลอมเหลวต่ำ การนำไฟฟ้านำความร้อนต่ำ	Ar, CO_2, I_2, H_2O, $C_{12}H_{22}O_{11}$ (น้ำตาล)
เมทัลลิก	พันธะเมทัลลิก	อ่อนถึงแข็ง จุดหลอมเหลวต่ำถึงสูง เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี	โลหะทั้งหมด เช่น Na, Mg, Fe, Cu

24

4. ชนิดของผลึก

4.1 ผลึกไอออนิก (Ionic Crystals)

- ลักษณะสำคัญ - ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ
  - ไอออนลบและไอออนบวกมีขนาดต่างกัน
- ตัวอย่างพิจารณา **ผลึก NaCl มีโครงสร้างแบบ face-centered cubic**



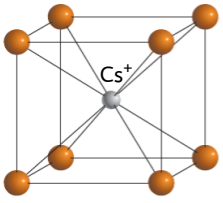
ความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์นี้ = 2 เท่าของผลรวมของรัศมีไอออน Na^+ และ Cl^-

25

4. ชนิดของผลึก

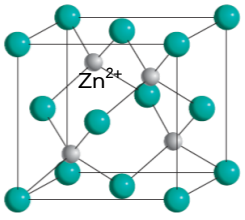
4.1 ผลึกไอออนิก (Ionic Crystals)

- ตัวอย่างผลึกไอออนิกอื่นๆ เช่น โครงสร้าง CsCl, ZnS, CaF_2



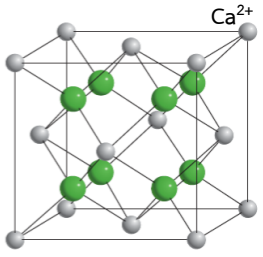
CsCl

- ผลึกเป็น scc



ZnS

- ผลึกเป็น fcc
- ซิงค์เบลนด์ (zincblende)
- CuCl, BeS, CdS, HgS



CaF_2

- ผลึกเป็น fcc
- ฟลูออไรท์ (fluorite)
- SrF_2, BaF_2, $BaCl_2$, PbF_2
- ไอออนลบเล็กกว่าไอออนบวก

26

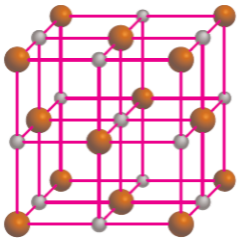
4. ชนิดของผลึก

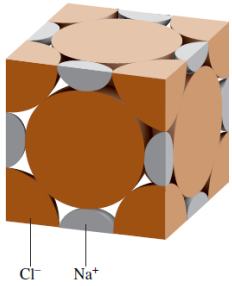
4.1 ผลึกไอออนิก (Ionic Crystals)

ตัวอย่างที่ 5 หน่วยเซลล์ของ NaCl จะประกอบด้วยไอออน Na^+ และ Cl^- อย่างละกี่ไอออน

วิธีทำ พิจารณาหน่วยเซลล์

NaCl มีโครงสร้างแบบ fcc





Na^+ จะอยู่กลาง cubic 1 ไอออน และที่ขอบทั้ง 12 ขอบ (ขอบแต่ละขอบ Na^+ อยู่ร่วมกัน 4 หน่วยเซลล์)
→ ดังนั้น จำนวนไอออน Na^+ มีทั้งหมด = 1 + (12 x ¼) = 4 ไอออน

Cl^- จะอยู่ที่มุม 8 มุม (แต่ละมุมใช้ร่วมกัน 8 หน่วยเซลล์) และอยู่ที่กึ่งกลางด้านของ cubic 6 ด้าน (แต่ละด้าน Cl^- อยู่ร่วมกัน 2 หน่วยเซลล์) → ดังนั้น จำนวนไอออน Cl^- มีทั้งหมด = $(8 \times \frac{1}{8}) + (6 \times ½) = 4$ ไอออน

27

4. ชนิดของผลึก

4.1 ผลึกไอออนิก (Ionic Crystals)

ตัวอย่างที่ 6 ถ้าความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ NaCl เท่ากับ 564 pm จงคำนวณความหนาแน่นของ NaCl ในหน่วย g/cm^3

วิธีทำ เนื่องจากในหนึ่งหน่วยเซลล์ของ NaCl ประกอบด้วย Na^+ และ Cl^- อย่างละ 4 ไอออน

มวลของ 1 หน่วยเซลล์ = 4 ไอออน x (22.99 + 35.45) g/mol x $\frac{1\ mol}{6.02 \times 10^{23}\ \text{ไอออน}}$

= 3.88 x 10^{-22} g

ปริมาตรของหน่วยเซลล์ = (564 pm)^3 $\left(\frac{10^{-12}\ m}{1\ pm}\right)^3 \left(\frac{1\ cm}{10^{-2}\ m}\right)^3$

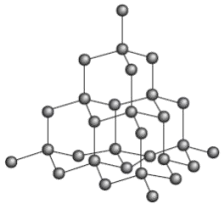
= 1.79 x 10^{-22} cm^3

ดังนั้น $d = \frac{m}{V} = \frac{3.88 \times 10^{-22}\ g}{1.79 \times 10^{-22}\ cm^3} = 2.17$ g/cm^3

4. ชนิดของผลึก

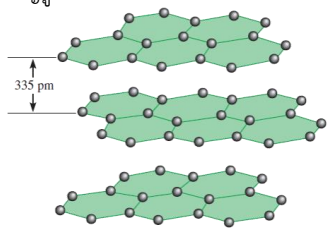
4.2 ผลึกโควาเลนท์ (Covalent Crystals)

- อะตอมยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนท์ในโครงร่างสามมิติ
- ตัวอย่างผลึกโควาเลนท์ที่รู้จักกัน คือ คาร์บอน ซึ่งมี 2 อัญรูป คือ เพชรและแกรไฟต์



เพชร

- sp^3-C แต่ละอะตอมเกิดพันธะกับ C อีก 4 อะตอม
- มีความแข็งมากที่สุด
- จุดหลอมเหลว 3550°C



แกรไฟต์

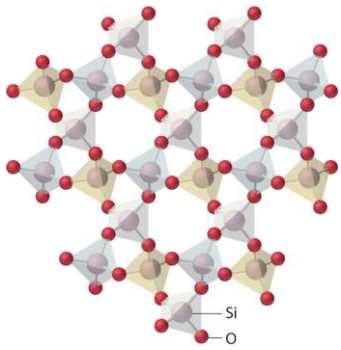
- sp^2-C แต่ละอะตอมเกิดพันธะโควาเลนท์กับ C 3 อะตอม เป็นระนาบวงแหวนหกเหลี่ยม
- 2p ที่เหลือใช้สร้างพันธะไพ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อิสระรอบวงแหวน จึงนำไฟฟ้าได้ดีในทิศทางที่ขนานกับระนาบของ C
- ระหว่างชั้นยึดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่อ่อน
- ใช้เป็นสารหล่อลื่น ไส้ดินสอ ผ้าหมึกเครื่องพิมพ์

29

4. ชนิดของผลึก

4.2 ผลึกโควาเลนท์ (Covalent Crystals)

- ตัวอย่างอื่นของผลึกโควาเลนท์ ได้แก่ **ควอทซ์ (SiO_2)** ซึ่งเรียงตัวคล้ายกับอะตอมคาร์บอนในเพชร โดยอะตอม O ทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง Si แต่ละคู่ ภายในโครงสร้างสามมิติ -(-O-Si-O-Si-O-)-
- พันธะ Si-O มีขั้ว เนื่องจากแต่ละอะตอมมีอิเล็กโทรเนกาติวิตี (EN) ต่างกัน
- SiO_2 มีความแข็งค่อนข้างสูง จุดหลอมเหลวสูง (1610 °C)



เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 101 หลักเคมี 1_อ.ดร. เพชรลดา กันทาดี
http://www.chemistry.mju.ac.th/wtms_document.aspx?bID=4114

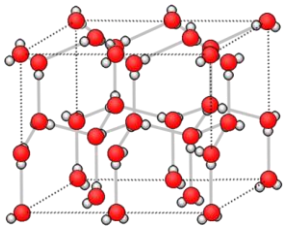
30

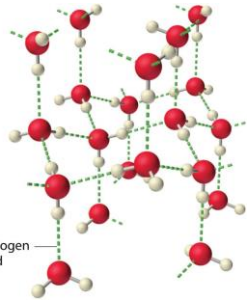
4. ชนิดของผลึก

4.3 ผลึกโมเลกุลาร์ (Molecular Crystals)

- โมเลกุลจะอยู่ที่จุดแลตทิซ ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ และ/หรือพันธะไฮโดรเจน
- ตัวอย่างผลึก ได้แก่ SO_2 (มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว เรียกว่า ไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole)
  H_2O (ผลึกน้ำแข็ง ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล)
  I_2 , P_4, และ S_8 เป็นต้น

"ice crystal structure"





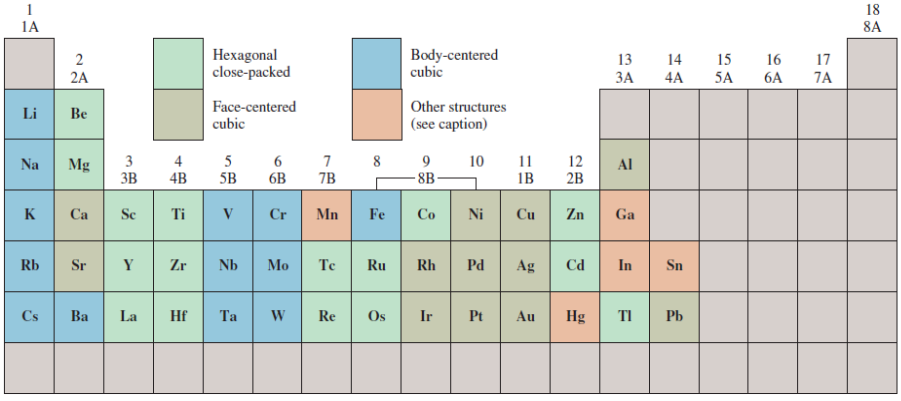
- แรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรงน้อยกว่าพันธะไอออนิกและโควาเลนท์ → ผลึกโมเลกุลาร์จึงแตกแยกออกจากกันได้ง่าย (ส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 100 °C)

31

4. ชนิดของผลึก

4.4 ผลึกเมทัลลิก (Metallic Crystals)

- ในผลึกชนิดนี้ อะตอมของโลหะชนิดเดียวกันจะอยู่ที่จุดแลตทิซ
- ผลึกมีโครงสร้างแบบ bcc, fcc, หรือ hcp → ประสิทธิภาพการบรรจุสูง โลหะจึงมีความหนาแน่นสูง



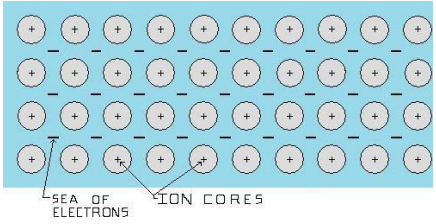
Mn = cubic structure, Ga = orthorhombic structure, In and Sn = tetragonal structure, and Hg = rhombohedral structure

32

4. ชนิดของผลึก

4.4 ผลึกเมทัลลิก (Metallic Crystals)

- พันธะโลหะจะแตกต่างจากพันธะในผลึกชนิดอื่น โดยพันธะโลหะเกิดจาก
  - โลหะปลดปล่อยอิเล็กตรอนวงนอก และอยู่ในรูปไอออนบวกที่เรียงเป็นระเบียบในผลึก
  - อิเล็กตรอนจำนวนมากสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั่วทั้งผลึก → ทะเลอิเล็กตรอน
  - เกิดแรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกของโลหะและทะเลอิเล็กตรอน



- แรงยึดเหนี่ยวมีผลต่อความแข็งแรง
  ส่วนการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทั่วทั้งผลึกทำให้โลหะเป็นตัวนำความร้อนและนำไฟฟ้าที่ดี

5. ของแข็งอสัณฐาน

- **ของแข็งอสัณฐาน** (Amorphous solids)

  - เป็นของแข็งที่ไม่มีการจัดเรียงในสามมิติอย่างเป็นระเบียบเหมือนในผลึก ตัวอย่างเช่น แก้ว

  - แก้วเป็นผลิตภัณฑ์ใส แสงผ่านได้

  - แก้วได้จากการหลอมสารประกอบอนินทรีย์ และเมื่อทิ้งให้เย็นจะเข้าสู่สถานะของแข็งโดยไม่มีการตกผลึก

  - แก้วที่มีสี เกิดจากมีโลหะออกไซด์ปนอยู่ด้วย

    เช่น แก้วสีเขียว มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) หรือ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เจือปน

    แก้วสีเหลือง มียูเรเนียมออกไซด์ (UO_2) เจือปน

    แก้วสีน้ำเงิน มีโคบอลท์ออกไซด์ (CoO) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เจือปน

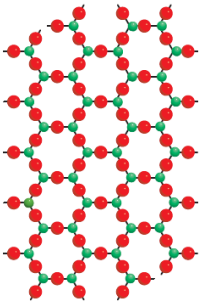
    แก้วสีแดง มีอนุภาคทองคำและทองแดงขนาดเล็ก เจือปน

5. ของแข็งอสัณฐาน

- **<u>ของแข็งอสัณฐาน</u>** (Amorphous solids)

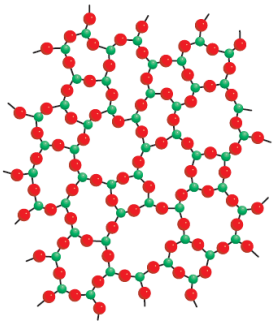
  - จากการศึกษาโครงสร้างแก้วด้วยเทคนิค X-ray diffraction → แก้วไม่มีความระเบียบในแนวยาว

  - ตัวอย่างพิจารณา โครงสร้าง 2 มิติของผลึกควอทซ์ และแก้วควอทซ์



SiO_2 **(ผลึกควอตซ์)**

เป็นผลึก



SiO_2 **(แก้วควอตซ์)**

ไม่เป็นผลึก

35