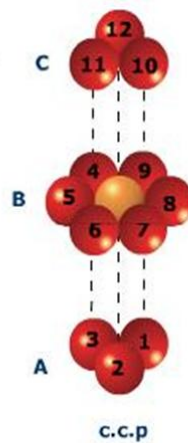
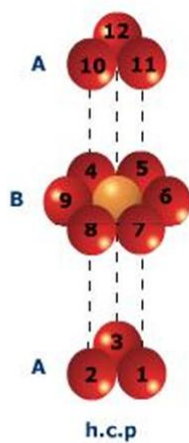
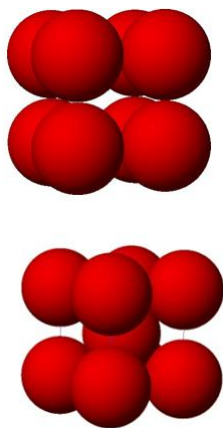


การทดลองเรื่องโครงสร้างของแข็ง



Part: Solid State

วัตถุประสงค์การทดลอง

- 1) เพื่อศึกษาการจัดตัวแบบขั้วที่ชิดและลักษณะช่องว่างที่เกิดขึ้น
- 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเลขโคออร์ดิเนชันกับอัตราส่วนรัศมีของไอออนบวกและไอออนลบในโครงสร้างของผลึกไอออนิก

บทนำการทดลอง

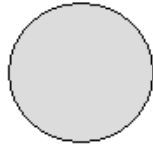
สถานะของสารที่เรียกว่าของแข็ง แบ่งได้เป็นสองกลุ่มตามลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม ไอออน หรือโมเลกุล ซึ่งเป็นโครงสร้างภายในของของแข็ง กลุ่มที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอม ไอออน หรือโมเลกุล อย่างเป็นระเบียบจะเรียกว่าผลึก (crystal) ตรงข้ามกับอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งมีการจัดเรียงตัวภายในเป็นอย่างไรแบบสุ่มหรือไม่มีการเรียงตัวจึงถูกเรียกว่า ออสัญฐาน (amorphous) ตัวอย่างผลึก เช่น เพชร เกลือแกง เป็นต้น และตัวอย่างอสัญฐาน เช่น แก้ว เป็นต้น โครงสร้างภายในของของแข็งที่เรียกว่าผลึก อาจเรียกง่าย ๆ ว่า โครงสร้างผลึก (crystal structure) หมายถึงการจัดเรียงตัวของอะตอม ไอออน หรือ โมเลกุล ณ ตำแหน่งต่างๆ ในผลึกซึ่งมีระยะห่างสม่ำเสมอในแต่ละทิศทางใน 3 มิติ หรือกล่าวได้ว่า มีการจัดเรียงตัวเป็นคาบ (periodic arrangement) แสดงตัวอย่างของการเรียงตัวแบบเป็นคาบของอะตอม ไอออน หรือ โมเลกุลในลักษณะต่างๆ ใน 2 มิติ ความเป็นระเบียบในโครงสร้างผลึก เป็นผลมาจากแรงกระทำระหว่างอะตอม ไอออน หรือ โมเลกุล ภายในผลึกเอง ซึ่งเป็นตัวกำหนด ความเสถียรของผลึกนั้นๆ และการมีโครงสร้างผลึกต่างกันส่งผลต่อคุณสมบัติที่ต่างกันด้วย

การพิจารณาอะตอมบริสุทธิ์ที่เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ ซึ่งอะตอมทุกอะตอมจะมีขนาดเท่ากัน และโลหะมีการบรรจุทรงกลมในลักษณะที่ทุกอะตอมชิดกันมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ทำให้เกิดการจัดโครงสร้างที่ชิดที่สุด (closest-packed patterns) ได้ 2 โครงสร้างคือโครงสร้างที่จัดชิดที่สุดรูปหกเหลี่ยม (hexagonal closest-packed structure) ใช้ตัวย่อว่า hcp หรือ ccp และโครงสร้างการบรรจุชิดที่สุดรูปลูกบาศก์ (cubic closest-packed structure) ใช้ตัวย่อว่า ccp

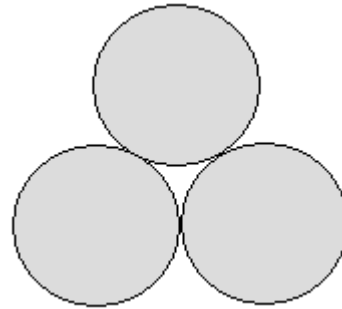
การชิดกันมากที่สุดของอะตอมทำให้เกิดช่องว่างเกิดขึ้นอยู่สองชนิดด้วยกัน ได้แก่ ช่องว่างเตตระฮีดรอล (tetrahedral hole, t) ซึ่งช่องว่างชนิดนี้จะมีอะตอมล้อมรอบ 4 อะตอมด้วยกัน และช่องว่างอีกชนิดหนึ่งได้แก่ ช่องว่างออกตะฮีดรอล (octahedral hole, o) ช่องว่างชนิดนี้จะมีอะตอมล้อมรอบทั้งสิ้น 6 อะตอม

อุปกรณ์

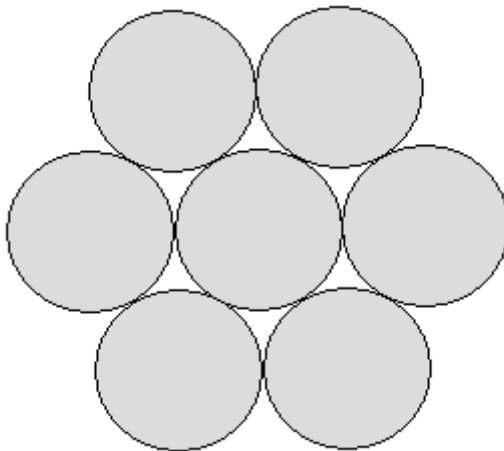
- 1) ลูกปิงปองที่มีลักษณะและจำนวนดังต่อไปนี้



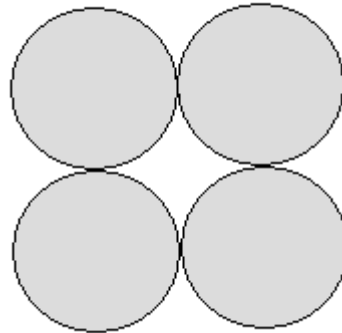
จำนวน 2 ลูก



จำนวน 2 ชุด



จำนวน 2 ชุด



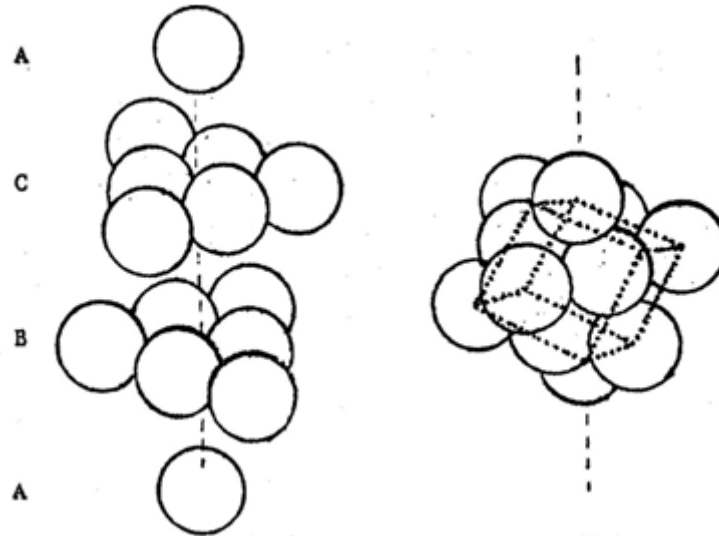
จำนวน 2 ชุด

- 2) ดินน้ำมัน
- 3) เวอร์เนียร์

วิธีการทดลอง

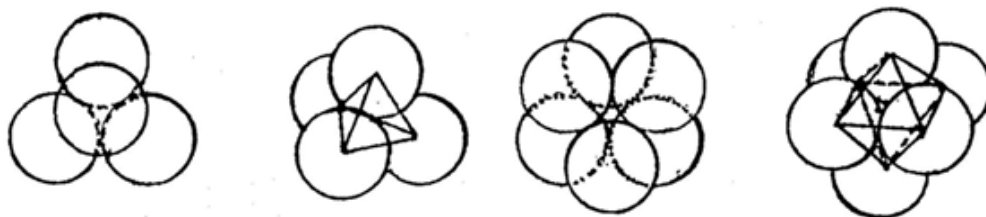
ในการทดลองนี้จะศึกษาพร้อมทั้งรายงานผลการศึกษาเติมลงในช่องว่างทำการทดลองดังนี้ นำทรงกลม 3 ลูกซึ่งเรียงชิดกันเป็นรูปสามเหลี่ยมมาวางบนโต๊ะ นำทรงกลม 7 ลูกซึ่งเรียงชิดกันเป็นรูปหกเหลี่ยมมาวางซ้อนลงไปโดยให้ทรงกลมที่อยู่กลางรูปหกเหลี่ยมอยู่ตรงกึ่งกลางรูปสามเหลี่ยมในชั้นแรกพอดี แล้วใช้ทรงกลมอีก 3 ลูกวางซ้อนชั้นบนสุดเป็นชั้นที่ 3 โดยให้มีตำแหน่งตรงกับทรงกลม 3 ลูกในชั้นแรกจะได้ชั้นที่เป็น ABABAB ซึ่งจะได้การจัดเรียงตัวแบบชิดที่สุดแบบ hcp ทรงกลมที่อยู่ตรงกลาง (ในชั้นที่ 2) และอยู่กับทรงกลมอื่นที่ลูก จำนวนทรงกลมทั้งหมดที่แตะอยู่กับทรงกลมแต่ละลูกเรียกว่า เลขโคออร์ดิเนชัน (coordination number) หมุนชั้นบนที่เป็นทรงกลม 3 ลูก 60 องศา จะได้ชั้นที่เป็น ABCABC ซึ่งการจัดเรียงตัวที่ชิดที่สุดจะได้โครงสร้างแบบ ccp ทรงกลมในโครงสร้างนี้มีเลขโคออร์ดิเนชันเป็นเท่าใด

ลองสร้างแบบจำลองใหม่ (ดูที่ 1) โดยนำทรงกลม 6 ลูกซึ่งเรียงชิดกันเป็นรูปสามเหลี่ยมมาวางซ้อนทรงกลมอีก 6 ลูกซึ่งเรียงชิดเป็นรูปสามเหลี่ยมเช่นเดียวกันแต่ให้มุมของสามเหลี่ยมบนอยู่ตรงกับด้านของสามเหลี่ยมล่าง วางทรงกลม 1 ลูกซ้อนลงบนกึ่งกลางของสามเหลี่ยมรูปบนและอีกลูกหนึ่งซ้อนใต้สามเหลี่ยมรูปล่างตรงกึ่งกลางพอดี โครงสร้างที่ได้ขณะนี้ประกอบด้วยทรงกลมเรียงซ้อนกัน 4 ชั้น ซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของโครงสร้างแบบ ccp นั่นเอง ให้สังเกตด้วยว่าทรงกลมทั้ง 14 ลูกเรียงกันเป็นลูกบาศก์ ที่มีมุมทุกมุมและกึ่งกลางหน้าทุกหน้ามีทรงกลมอยู่ 1 ลูก หรืออาจเรียกว่าเป็นโครงสร้างแบบ face-centered cubic (fcc)



รูปที่ 1

ในการนำทรงกลมมาเรียงซ้อนกันเป็นโครงสร้างชิดที่สุดทั้งสองแบบนี้จะเกิดช่องว่าง (vacancy หรือ hole) ขึ้นระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน ช่องว่างดังกล่าวนี้มี 2 ประเภทคือ ช่องว่างออกตะฮีดรอล (octahedral vacancy) และช่องว่างเตตระฮีดรอล (tetrahedral vacancy) ซึ่งจะได้ศึกษาจากการทดลองต่อไปนี้



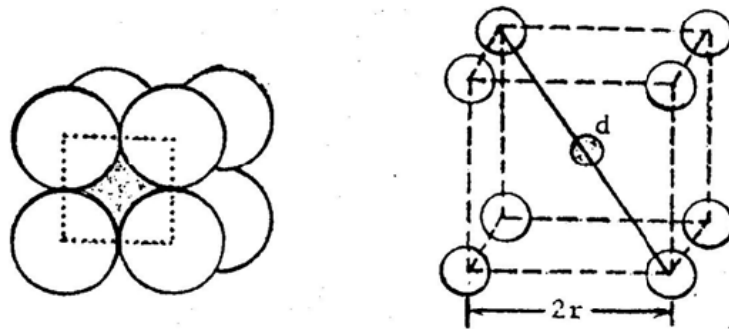
ช่องว่างเตตระฮีดรอล นำทรงกลมมา 3 ลูกซึ่งเรียงติดกันเป็นรูปสามเหลี่ยมมาวางบนโต๊ะ วางทรงกลมอีกลูกหนึ่งซ้อนข้างบนตรงกึ่งกลางสามเหลี่ยมจะเห็นว่าตรงกลางระหว่างทรงกลมทั้งสองชั้นมีช่องว่างซึ่งอาจบรรจุทรงกลมเล็ก ๆ ได้อีก 1 ลูก ให้ใช้ดินน้ำมันปริมาตรพอเหมาะปั้นให้เป็นทรงกลมขนาดเล็กที่ใส่ลงในช่องว่างนี้ได้พอดี (ทรงกลมเล็กแต่ละกับทรงกลมใหญ่ทั้ง 4 ลูกพอดี) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมเล็กและทรงกลมใหญ่เปรียบเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมเล็ก =

รัศมีทรงกลมเล็ก (r_1) =
 เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมใหญ่ =
 รัศมีทรงกลมใหญ่ (r_2) =
 อัตราส่วนรัศมี (r_1/r_2) =

เมื่อพิจารณาแบบจำลองที่ได้จะเห็นว่าทรงกลมใหญ่ 4 ลูกจัดตัวเป็นรูปทรงสี่หน้ารอบทรงกลมเล็กหรืออาจกล่าวได้ว่า ทรงกลมเล็กอยู่ในช่องว่างเตตระฮีดรอลในโครงสร้างซิทที่สุดของทรงกลมใหญ่ ช่องว่างออกเตตระฮีดรอล นำทรงกลม 3 ลูกซึ่งเรียงชิดกันเป็นรูปสามเหลี่ยมมา 2 ชุด วางซ้อนกันบนโต๊ะให้จุดกึ่งกลางอยู่ตรงกันแต่วางทรงกลมสลับกันใช้ดินน้ำมันปั้นเป็นทรงกลมขนาดเล็กที่บรรจุในช่องว่างที่เกิดขึ้นตรงกลางระหว่างสามเหลี่ยมทั้งสองชั้นได้พอดี (แต่ละกับทรงกลมใหญ่ทั้ง 6 ลูกพอดี) แล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมเล็ก

รัศมีทรงกลมเล็ก (r_1) =
 อัตราส่วนรัศมี(r_1/r_2) =

ขณะนี้ทรงกลมใหญ่ 6 ลูกจัดตัวเป็นรูปทรงแปดหน้ารอบทรงกลมเล็ก หรืออาจกล่าวได้ว่าทรงกลมเล็กอยู่ในช่องว่างออกเตตระฮีดรอลในโครงสร้างซิทที่สุดของทรงกลมใหญ่



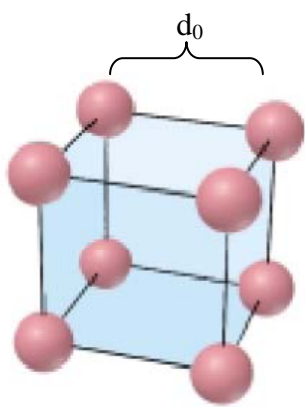
ช่องว่างในโครงสร้างแบบ *simple cubic* นำทรงกลม 4 ลูกซึ่งเรียงกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมา 2 ชุด วางซ้อนกันให้เป็นรูปลูกบาศก์ โครงสร้างที่ได้นี้เป็นแบบ *simple cubic (sc)* ให้ปั้นดินน้ำมันเป็นทรงกลมที่บรรจุลงกลางลูกบาศก์ได้พอดี (แต่ละกับทรงกลมใหญ่ทั้ง 8 ลูก) แล้ววัดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมเล็ก

รัศมีทรงกลมเล็ก (r_1) =
 อัตราส่วนรัศมี(r_1/r_2) =

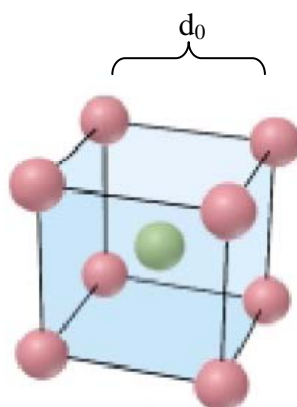
จากการศึกษาข้างต้นนักเรียนคงเห็นภาพช่องว่างและการจัดเรียงตัวอะตอมที่มีขนาดเท่ากัน ทุกๆ อะตอม ต่อไปจะศึกษาโครงสร้างที่เป็นผลึกของอะตอมแล้วเติมช่องว่างที่กำหนดให้

ตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดอะตอมและน้ำหนักของอะตอมบางชนิด

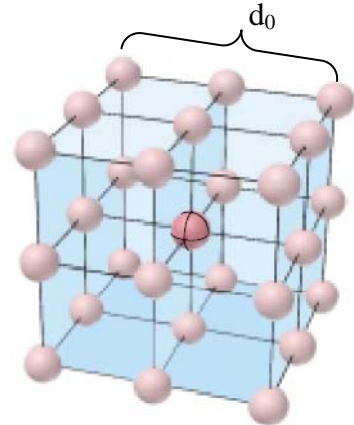
อะตอม	น้ำหนักอะตอม	รัศมีอะตอม (nm)	รัศมีไอออน (nm)
Na	22.99	-	0.095
Cu	63.55	-	0.096
Cl	35.45	0.099	0.181
Cs	132.9	0.262	0.169
Zn	65.38	0.133	0.074
S	32.06	0.104	0.184
K	39.10	0.231	0.133
I	126.9	0.133	0.216
Br	79.90	0.114	0.195
Tl	204.4	0.171	0.147



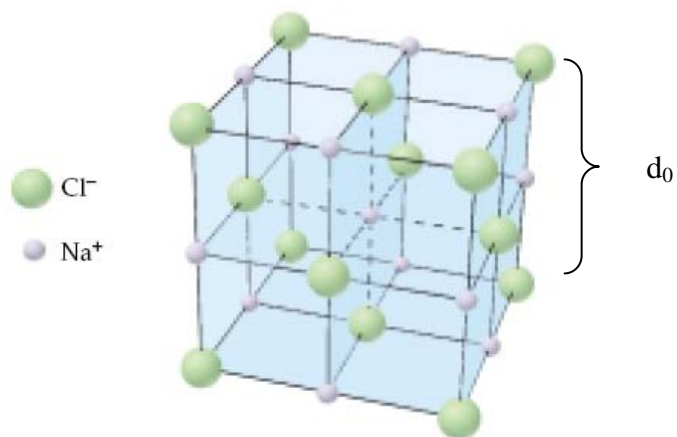
SC



BCC



FCC



Simple Cubic Crystal

ปริมาตรของยูนิทเซลล์เขียนในรูปตัวแปร d_0	.....
จำนวนอะตอมต่อหนึ่งยูนิทเซลล์	.....
รัศมีของอะตอมเขียนในรูปตัวแปร d_0	.....
ปริมาตรของอะตอมเขียนในรูปตัวแปร d_0	.....
ปริมาตรของอะตอมต่อปริมาตรของเซลล์	.....

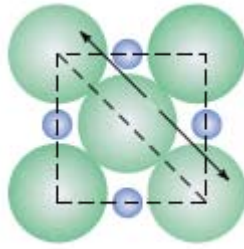
Body-Centered Cubic Crystal

รัศมีของอะตอมโซเดียม	
ใน BCC จะชิดติดกันแนวทแยงมุม	
ความยาวในแนวเส้นทแยงมุมเป็นเท่าไรถ้าค่า $d_0 = 0.429$ nm	..... nm
$4 \times r_{\text{Na}} =$ ความยาวของเส้นทแยงมุม	$r_{\text{Na}} =$ nm
ความหนาแน่นของโลหะโซเดียม	
ความยาวของยูนิทเซลล์ (d_0) ในหน่วยเซนติเมตร	..... cm
ปริมาตรของยูนิทเซลล์, V	..... cm ³
จำนวนอะตอมต่อยูนิทเซลล์	.....
จำนวนของยูนิทเซลล์ต่อโมลของ Na	.....
น้ำหนักของยูนิทเซลล์, m	..... g
ความหนาแน่นของโลหะโซเดียม, m/V (Obs. 0.97 g/cm ³)	..... g/cm ³

Face-Centered Cubic Crystal

จำนวนอะตอมต่อยูนิทเซลล์	.....
รัศมีอะตอมของ Cu	
FCC จะเรียงชิดติดกันมากที่สุดที่เส้นทแยงมุมที่ผิวของยูนิทเซลล์	
ความยาวของเส้นทแยงมุมที่ผิวถ้า $d_0 = 0.361$ nm	..... nm
รัศมีของ Cu	..... nm
Avogadro's Number, N	
ความยาวขอบในหน่วยเซนติเมตรของ Cu	..... cm
ปริมาตรยูนิทเซลล์ของ Cu	..... cm ³
ปริมาตรของโมลของ Cu ($V = \text{mass}/\text{density}$)	..... cm ³
จำนวนของยูนิทเซลล์ต่อโมลอะตอม Cu	.....
จำนวนของอะตอมต่อยูนิทเซลล์	.....
จำนวนอะตอมต่อโมล	.....

ขนาดของช่องว่างออกตะฮีตรอล จากภาพเป็นภาพของ NaCl ซึ่งไอออนบวกจะอยู่ในช่องว่างชนิดออกตะฮีตรอล



จงหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า r_- กับ d_0

$r_- = \dots \times d_0$

จงหาความสัมพันธ์ระหว่าง r_+ r_- และ d_0

$d_0 = \dots$

จงหาความสัมพันธ์ระหว่าง r_+ กับ d_0

$r_+ = \dots \times d_0$

อัตราส่วนระหว่าง r_+/r_- คือ $\dots = \dots$

จงหาอัตราส่วนของอะตอมต่อไปนี้

KI r_+/r_- คือ \dots โครงสร้างผลึกสามัญคือ \dots (Obs. NaCl)

CuBr r_+/r_- คือ \dots โครงสร้างผลึกสามัญคือ \dots (Obs. ZnS)

TlBr r_+/r_- คือ \dots โครงสร้างผลึกสามัญคือ \dots (Obs. CsCl)

เอกสารอ้างอิง

บทปฏิบัติการเคมีทั่วไป 1 มหาวิทยาลัยมหิดล

จินตนา สิริพิทยานานนท์, การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2537.

Emil J. Slowinski, Wayne C. Wolsey, William L. Masterton, **Chemical Principles in The Laboratory, 8th ed.** Thomson Brooks/Cole Date Published: 2000.