

แผนการสอนสัปดาห์ที่ 10

หน่วยเรียนที่ 5 สมบัติแก๊ส ของแข็ง ของเหลว และสารละลาย
บทเรียนที่ 5.2 ของแข็ง

จำนวนชั่วโมง 3

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจของแข็ง

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกประเภทของแข็ง
2. คำนวณเกี่ยวกับระบบผลึก
3. อธิบายโครงสร้างผลึกสามัญบางชนิด

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. การบรรยาย
2. กิจกรรม

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

เอกสารประกอบการสอน

เอกสาร powerpoint

http://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=137

<http://facebook.com/chemographics>

<http://slideshare.net/woravith>

การวัดผล

1. การสอบย่อย/การสอบกลางภาค/การสอบปลายภาค
2. การประเมินจากผลงานที่มอบหมาย/กิจกรรม

หน่วยเรียนที่ 5 สมบัติแก๊ส ของแข็ง ของเหลว และสารละลาย

บทเรียนที่ 5.2 ของแข็ง

ของแข็ง (solid) คือสารที่อนุภาค (อะตอม ไอออน หรือโมเลกุล) เรียงตัวขึ้นเป็นผลึกของแข็งที่อยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนและใกล้ชิดกันมาก จึงทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคสูง ทำให้ของแข็งมีสมบัติทางกายภาพหลายประการ เช่น

- มีรูปร่างแน่นอน (definite shape) ไม่ขึ้นกับภาชนะที่บรรจุ
- อนุภาคภายในไม่มีการเคลื่อนที่ แต่มีการสั่นได้ จึงทำให้ของแข็งมีพลังงานจลน์ต่ำมากเมื่อเทียบกับแก๊ส ของแข็งเมื่อได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการสั่นของอนุภาค
- อัตราการแพร่ของของแข็งต่ำมาก (ช้ามาก) เมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สหรือของเหลว
- ของแข็งบางชนิดเป็นตัวนำความร้อนและนำไฟฟ้า บางชนิดเป็นสารกึ่งตัวนำและบางชนิดเป็นฉนวน
- ของแข็งมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูงกว่าของเหลวและแก๊ส
- สามารถตกเป็นผลึก ซึ่งผลึกที่ได้มีโครงสร้างที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน เรียกว่า ของแข็งรูปผลึก ส่วนผลึกที่ไม่มีโครงสร้างรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน เรียกว่า ของแข็งอสัณฐาน

5.2.1 ประเภทของแข็ง

1) ผลึกของแข็ง (crystalline) คือของแข็งที่อนุภาค (อะตอม ไอออน หรือโมเลกุล) จัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบและมีรูปร่างผลึกเป็นทรงเรขาคณิต ของแข็งประเภทนี้มีสมบัติที่เด่นชัด เช่น มีผิวหน้าเรียบ มีมุมระหว่างผิวหน้าแน่นอน มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงแคบ ตัวอย่างผลึกของแข็ง เช่น เพชร ควอตซ์ ดังภาพที่ 5.11



แร่กาลีน่า (galena)

ควอตซ์ (quartz)

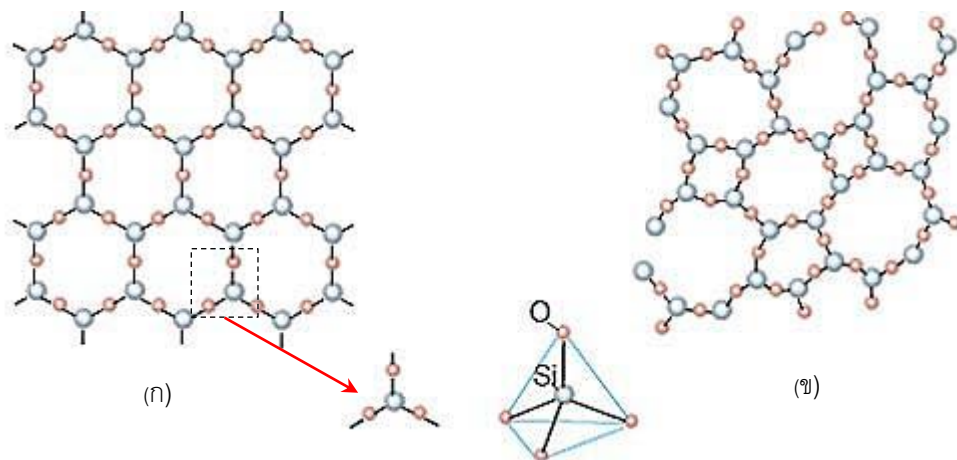
ไพไรต์ (pyrite)

ภาพที่ 5.11 ลักษณะผลึกของแข็ง

2) ของแข็งอสัณฐาน (amorphous) คือของแข็งที่ประกอบขึ้นด้วยอนุภาคที่จัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ถ้าของเหลวเย็นตัวเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว อนุภาค (อะตอมหรือโมเลกุล) ไม่มีเวลาพอที่จะจัดเรียงตัวในตำแหน่งที่เหมาะสม จึงมีลักษณะคือ ไม่มีรูปทรงเรขาคณิต ผิวหน้าไม่เรียบ มีมุมที่ไม่แน่นอน จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงกว้าง ทำให้จุดหลอมเหลวไม่เด่นชัด ตัวอย่างของแข็งอสัณฐาน เช่น แก้ว ยาง และพลาสติก

แก้วเป็นผลิตภัณฑ์ใสที่ได้จากการหลอมสารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งเมื่อเย็นจะเข้าสู่สถานะของแข็ง โดยที่ไม่มีการตกผลึก ในบางครั้งแก้วประพฤติตัวคล้ายของเหลวมากกว่าของแข็ง แก้วที่ใช้ทั่วไปมีมากกว่า

800 ชนิด ภาพที่ 5.12 แสดงโครงสร้าง 2 มิติของผลึกของแข็งควอตซ์และแก้วที่ไม่เป็นรูปผลึก โดยทั้งคู่มีอะตอม Si และ O เป็นองค์ประกอบเหมือนกัน แต่แตกต่างกันในการเรียงตัว



ภาพที่ 5.12 โครงสร้าง 2 มิติ (ก) ผลึกของแข็งควอตซ์ และ (ข) แก้วที่ไม่เป็นรูปผลึก
ที่มา: Brown et al. Chemistry. 2009. p459

จากโครงสร้าง 2 มิติ ในภาพที่ 5.12 วงกลมใหญ่ คือธาตุ Si ในโครงสร้าง 3 มิติและ Si จะพันธะกับ O 4 อะตอม รูปร่างเป็นแบบเตตระฮีดรัล แก้วมีสีต่างๆ ได้เนื่องจากมีโลหะออกไซด์ปนอยู่ด้วย เช่น แก้วมีสีเขียว มีเหล็ก(III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) หรือทองแดง(II) ออกไซด์ (CuO) แก้วมีสีเหลือง มียูเรเนียม(IV) ออกไซด์ (UO_2) แก้วสีน้ำเงิน มีโคบอลต์(II) ออกไซด์ (CoO) และทองแดง(II) ออกไซด์ (CuO) แก้วสีแดง มีอนุภาคขนาดเล็กของทองคำและทองแดง

ตารางที่ 5.3 องค์ประกอบและสมบัติของแก้วที่ไม่เป็นรูปผลึก

ชนิดแก้ว	องค์ประกอบ	สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์
แก้วควอตซ์บริสุทธิ์	100% SiO_2	ขยายตัวด้วยความร้อนได้น้อย ยอมให้แสงผ่านได้ทุกความยาวคลื่น ใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับแสง
แก้วไฟเร็กซ์	60-80% SiO_2 10-25% B_2O_3 Al_2O_3 (เล็กน้อย)	ขยายตัวด้วยความร้อนได้น้อย ยอมให้รังสีลิบิลและอินฟราเรดผ่านได้ แต่รังอัลตราไวโอเล็ตผ่านไม่ได้ ใช้ทำเครื่องแก้วในห้องทดลอง ภาชนะทำอาหาร
แก้วโซดาไลม์	75% SiO_2 15% Na_2O 10% CaO	แตกง่ายเมื่อร้อน ยอมให้รังสีลิบิลผ่านได้ แต่ดูดกลืนรังอัลตราไวโอเล็ต ใช้ทำกระจก ขวด

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chang and Goldby. Chemistry. 2013. p495

ชนิดของผลึกของแข็ง

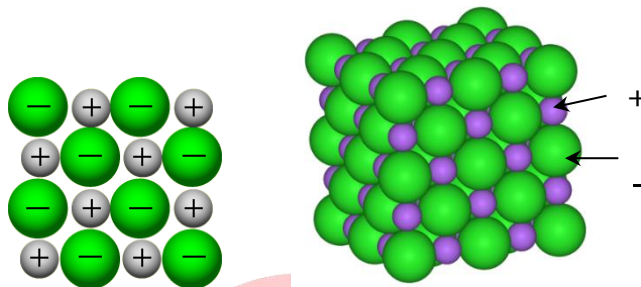
โครงสร้างและสมบัติของผลึกของแข็งสามารถพิจารณาได้จากชนิดของแรงที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคต่างๆ ในผลึก ชนิดของผลึกของแข็งแบ่งตามแรงที่ยึดเหนี่ยวอนุภาคออกเป็น 4 ชนิดคือ

1) ผลึกไอออนิก

ผลึกไอออนิก (ionic crystal) เป็นผลึกที่เกิดจากไอออนบวกและไอออนลบเรียงตัวสลับกัน ทำให้ผลึกไอออนิกเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุที่ต่างกันในที่แข็งแรง เรียกแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบว่า แรงคูลอมบ์ (coulombic force)

ผลึกไอออนิกจึงมีพลังงานแลตทิซสูง ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลึกไอออนิก 2 ประการคือ

- 1.1) ผลึกไอออนิกประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบเรียงตัวสลับกัน (ภาพที่ 5.13)
- 1.2) ไอออนลบและไอออนบวกมีขนาดต่างกัน (ไอออนลบมีขนาดใหญ่กว่าไอออนบวก)

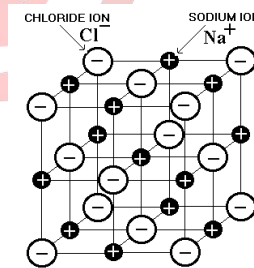


ภาพที่ 5.13 การเรียงตัวของผลึกไอออนิก

ตัวอย่างผลึกไอออนิกและโครงสร้างผลึกไอออนิกของ NaCl (ภาพที่ 5.14) และหน่วยเซลล์ของผลึกไอออนิกบางชนิด แสดงดังภาพที่ 5.15



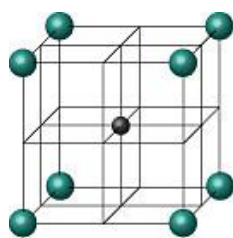
(ก)



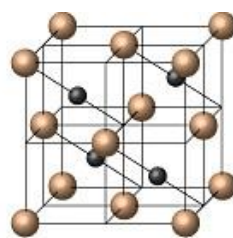
(ข)

ภาพที่ 5.14 ผลึกของแข็ง NaCl (ก) ลักษณะผลึก และ (ข) การเรียงตัวของของโครงสร้างผลึก NaCl

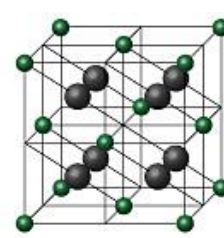
ที่มา: ดัดแปลงจาก http://www.docbrown.info/page04/4_72bond2.htm



(ก)



(ข)



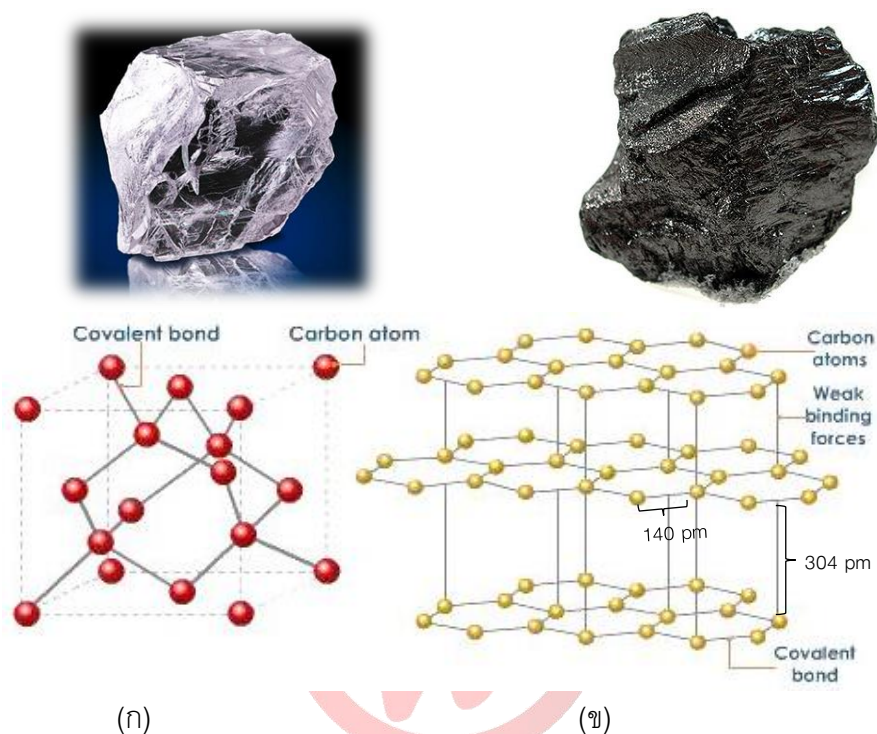
(ค)

ภาพที่ 5.15 หน่วยเซลล์โครงสร้างผลึกของ (ก) CsCl (ข) ZnS และ (ค) CaF₂

ที่มา: <http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/3082/3156196/blb1108.html>

2) ผลึกโคเวเลนต์

ผลึกโคเวเลนต์ (covalent crystal) หรือผลึกร่างแห เป็นผลึกที่อะตอมยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกันเกิดเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล โดยอะตอมแต่ละอะตอมจะยึดเหนี่ยวกับอะตอมข้างเคียงด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่แข็งแรง ผลึกประเภทนี้มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดที่สูงมาก ตัวอย่างผลึกโคเวเลนต์ เช่น เพชร (diamond) แกร์ไฟต์ (graphite) แร่ควอตซ์ (quartz) และ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) ภาพที่ 5.16 แสดงโครงสร้างผลึกโคเวเลนต์ของเพชรและแกร์ไฟต์



ภาพที่ 5.16 โครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนใน (ก) เพชร และ (ข) แกร์ไฟต์
ที่มา: ดัดแปลงจาก <http://chemistry.tutorvista.com/organic-chemistry/carbon-compounds.html>

ผลึกของแข็งที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันแต่การจัดเรียงตัวภายในโครงสร้างผลึกแตกต่างกันเรียกว่า อัญรูป โครงสร้างการจัดเรียงอะตอม C ในเพชรและแกร์ไฟต์แตกต่างกันเกิดเป็นอัญรูปที่สำคัญคือ

1) อัญรูปเพชร โดย C แต่ละอะตอมใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนทั้งหมดสร้างพันธะโคเวเลนต์กับอะตอม C อีก 4 อะตอมที่อยู่ล้อมรอบ ความยาวพันธะระหว่าง C ทุกอะตอมเท่ากันหมดทุกทิศทางเท่ากับ 154 พิโกเมตร การจัดอะตอมในผลึกเพชรคล้ายตาข่ายโยงกันทั้ง 3 มิติ (three-dimensional network) ดังภาพที่ 5.16(ก) เป็นผลให้อะตอม C ยึดกันไว้นั่นจึงมีความแข็งมากที่สุด เพชรไม่นำไฟฟ้าเนื่องจากเวเลนซ์อิเล็กตรอนทั้ง 4 ตัวเกิดพันธะโคเวเลนต์ จึงไม่มีอิเล็กตรอนเหลือ

2) อัญรูปแกร์ไฟต์ อะตอม C จัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ และสร้างพันธะโคเวเลนต์ต่อกันเป็นวง วงละ 6 อะตอมต่อเนื่องกันอยู่ในภายในระนาบเดียวกัน พันธะระหว่างอะตอม C ที่อยู่ในชั้นเดียวกันมีความยาว 140 พิโกเมตร ส่วนอะตอม C ในแต่ละชั้นอยู่ห่างกัน 340 พิโกเมตร การจัดอะตอมเป็นโครงผลึกร่างตาข่าย ดังภาพที่ 5.16(ข) ส่งผลให้อะตอม C ยึดกันไว้นั่น ทำให้แกร์ไฟต์มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง

อะตอม C ในโครงผลึกของแกรไฟต์มี 4 เวเลนซ์อิเล็กตรอน แต่ละอะตอมจะสร้างพันธะกับ C 3 อะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกัน จึงเหลืออีก 1 อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อิสระไปทั่วภายในชั้น ทำให้แกรไฟต์นำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดีเฉพาะภายในชั้นเดียวกัน ระหว่างชั้นของแกรไฟต์อะตอม C อยู่ห่างกัน 340 พิโกเมตร (เป็นระยะที่มากกว่าความยาวพันธะเดี่ยวระหว่าง C) อะตอม C ระหว่างชั้นไม่ได้สร้างพันธะโคเวเลนต์ แต่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่แข็งแรงน้อยกว่าพันธะโคเวเลนต์ในชั้นเดียวกัน อะตอม C ในแกรไฟต์จึงมีลักษณะซ้อนเป็นแผ่นและเลื่อนไถลไปตามชั้นได้ง่าย

ตารางที่ 5.4 สมบัติของเพชรและแกรไฟต์

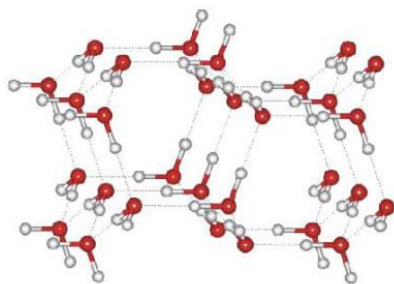
เพชร	แกรไฟต์
เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ	เกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติและผลิตขึ้นมาได้
มีความแข็งมากที่สุด (ระดับ 10)	อ่อนและสัมผัสสั้น (ระดับความแข็งน้อยกว่า 1)
มีความหนาแน่นสูง (3.51 g/cm ³)	มีความหนาแน่นปานกลาง (2.27 g/cm ³)
จุดเดือดสูง (4,830°C)	ไม่แน่นอน
จุดหลอมเหลว (3,550°C)	ไม่แน่นอน
ยอมให้แสงผ่านได้และมีดัชนีหักเหสูง	สีดำและทึบแสง
ไม่นำความร้อนและไม่นำไฟฟ้า	นำความร้อนและนำไฟฟ้าดี
เผาไหม้ในอากาศที่ 900°C	เผาไหม้ในอากาศที่ 700-800°C
โครงผลึกเป็นออคตาฮีดรอล	โครงผลึกเป็นเฮกซะโกนัล

ที่มา: ดัดแปลงจาก Silberberg. Principle of General of Chemistry. 2013. p381

ควอตซ์ เป็นผลึกโคเวเลนต์อีกประเภทหนึ่งที่เป็นแร่ซิลิโคนออกไซด์ (SiO₂) ดังภาพที่ 5.12(ก) ประกอบด้วย Si และ O ร้อยละ 46.7% และ O 53.3% ตามลำดับ ควอตซ์ละลายได้ในกรดเกลือ แร่ควอตซ์เกือบจะเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุด แร่ควอตซ์แบ่งอย่างกว้างๆ ได้เป็น 2 พวก คือพวกที่เกิดเป็นผลึกหรือมีผลึกหยาบ (coarsely crystalline) และพวกที่เกิดเป็นผลึกละเอียดมากมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น (cryptocrystalline) แร่ควอตซ์นำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่างๆ มากมาย เช่น ใช้เป็นรัตนชาติและหินประดับ ใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเครื่องมือทางแสง ทำเลนส์และปริซึม เนื่องจากมีคุณสมบัติโปร่งใสยอมให้รังสีอินฟราเรดและอัลตราไวโอเล็ต (ยูวี) ผ่านได้ดี

3) ผลึกโมเลกุล

ผลึกโมเลกุล (molecular crystal) ประกอบขึ้นจากอนุภาคที่จุดแลตทิซอาจเป็นอะตอมหรือโมเลกุล แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ประเภทแรงลอนดอน (London force) หรือแรงไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole) หรือพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) อย่างไรก็ตามหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับชื่อของโมเลกุล ผลึกชนิดนี้จึงมีจุดหลอมเหลวต่ำ ระเหยง่าย ความดันไอสูง ไม่นำไฟฟ้า ตัวอย่างผลึกโมเลกุล เช่น ของแข็งซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวแบบแรงไดโพล-ไดโพล หรือในกรณีของน้ำแข็ง (H₂O) เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจน ดังภาพที่ 5.17



ภาพที่ 5.17 โครงสร้างผลึกของโมเลกุลน้ำแข็ง

ที่มา: <http://io9.com/have-you-ever-seen-a-snowflake-blossom-1528622925>

4) ผลึกโลหะ

ผลึกโลหะ (metallic crystal) เป็นผลึกที่อนุภาคที่จุดแลตทิซเป็นไอออนบวกของโลหะอยู่ล้อมรอบด้วยกลุ่มหมอกอิเล็กตรอน แต่ละอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทั่วบริเวณของโลหะ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนบวกของอะตอมโลหะกับอิเล็กตรอนเกิดจากพันธะโลหะ ผลึกประเภทนี้มีความแข็งแรง จุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงมาก ตีเป็นแผ่น ดึงเป็นเส้น บิดงอได้ง่าย นำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ดี แต่โลหะบางชนิดอาจมีสมบัติไม่สอดคล้องกับสมบัติข้างต้นทั้งหมด เช่น ตะกั่ว นำไฟฟ้าได้ไม่ดี หรือโลหะหมู่แอลคาไล (หมู่ 1A) และแอลคาไลน์เอิร์ท (หมู่ 2A) ค่อนข้างอ่อน มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวต่ำ โลหะแต่ละชนิดมีโครงสร้างผลึกแตกต่างกันเฉพาะตัว เช่น เหล็ก (Fe), โครเมียม (Cr), ทองคำ (Au), เงิน (Ag), ไททาเนียม (Ti), สังกะสี (Zn), แมกนีเซียม (Mg) ตัวอย่างผลึกของโลหะ Cr, Au และ Mg แสดงดังภาพที่ 5.18 และหน่วยเซลล์ของโครงสร้างผลึกโลหะบางชนิด แสดงในภาพที่ 5.19

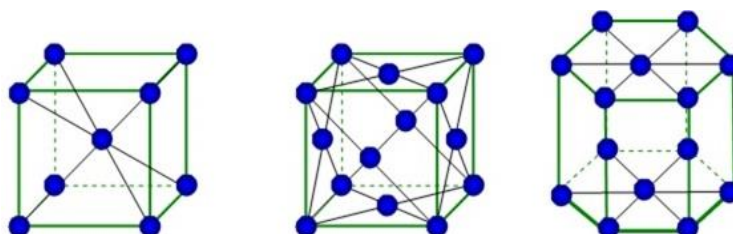


(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 5.18 ตัวอย่างผลึกโลหะ (ก) Cr (ข) Au และ (ค) Mg



(ก) Fe, V, Nb, Cr

(ข) Al, Ni, Ag, Cu, Au

(ค) Ti, Zn, Mg, Cd

ภาพที่ 5.19 หน่วยเซลล์ผลึกโลหะ (ก) ลูกบาศก์กลางตัว (ข) ลูกบาศก์กลางหน้า และ (ค) เฮกซะโกนัล

ที่มา: ดัดแปลงจาก <http://apchemcyhs.wikispaces.com>

ตารางที่ 5.5 ชนิดของผลึกและสมบัติทั่วไป

ชนิด	แรงที่ยึดเหนี่ยว	สมบัติ	ตัวอย่าง
ผลึกไอออนิก	แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต	แข็ง เปราะ จุดหลอมเหลวสูง, การนำไฟฟ้าและนำความร้อนต่ำ	NaCl, LiF, MgO, CaCO ₃
ผลึกโคเวเลนต์	พันธะโคเวเลนต์	แข็ง จุดหลอมเหลวสูง การนำไฟฟ้าและนำความร้อนต่ำ	C (เพชร), SiO ₂ (ควอตซ์)
ผลึกโมเลกุล	แรงลอนดอน แรงไดโพล-ไดโพล พันธะไฮโดรเจน	อ่อน จุดหลอมเหลวต่ำ การนำไฟฟ้าและนำความร้อนต่ำ	Ar, CO ₂ , I ₂ , H ₂ O, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
ผลึกโลหะ	พันธะโลหะ	อ่อนถึงแข็ง จุดหลอมเหลวต่ำถึงสูง นำความร้อนและไฟฟ้ายิ่งดี	โลหะทั้งหมด เช่น Na, Mg, Fe, Cu

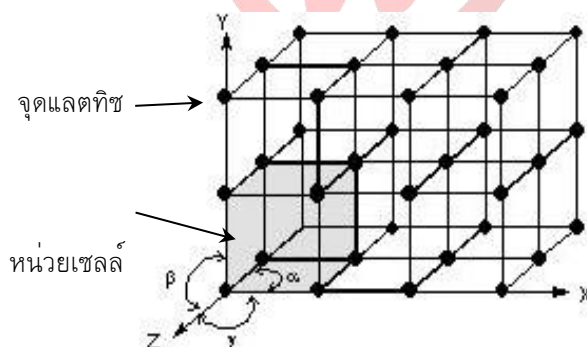
ที่มา: ดัดแปลงจาก Chang and Goldby. Chemistry. 2013. p493

5.2.2 ระบบผลึก

โครงสร้างผลึก (crystal structure)

โครงสร้างผลึกของแข็งเป็นการเรียงตัวของอนุภาค (อะตอม ไอออน หรือโมเลกุล) ที่เป็นระเบียบแบบแผนทางเรขาคณิตในโครงข่ายระบบสามมิติ ดังแสดงในภาพที่ 5.20 เพื่อให้สะดวกจึงใช้รูปทรงกลมแทนตำแหน่งอนุภาคในโครงสร้างผลึกซึ่งปรากฏเป็นจุดตัดบนโครงข่ายสามมิติ เรียกว่า จุดแลตทิซ (lattice point) ซึ่งแสดงถึงอะตอมของในโครงข่าย โดยที่แต่ละจุดแลตทิซจะมีสิ่งแวดล้อมในทุกทิศทางเหมือนกัน

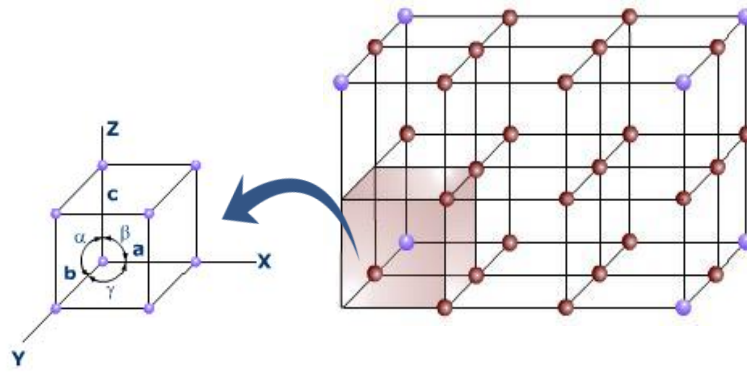
โครงสร้างผลึกของแข็ง เรียกอีกอย่างว่า แลตทิซผลึก (crystal lattice)



ภาพที่ 5.20 โครงสร้างผลึกของแข็ง

หน่วยเซลล์

หน่วยเซลล์ (unit cell) คือหน่วยโครงสร้างพื้นฐานที่เล็กที่สุดของแลตทิซผลึกที่แสดงให้เห็นลักษณะการจัดเรียงอนุภาคภายในผลึกอย่างสมบูรณ์ที่มีการจัดเรียงตัวซ้ำๆ กันทุกทิศทาง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าแลตทิซผลึกเกิดจากการนำหน่วยเซลล์มาเรียงต่อกัน โดยถือว่าทรงกลมที่อยู่ตรงหน้าหรือมุมของหน่วยเซลล์หนึ่งจะเป็นส่วนของอีกหน่วยเซลล์หนึ่งที่อยู่ติดกันด้วย ขนาดและรูปร่างของหน่วยเซลล์กำหนดด้วยแลตทิซพารามิเตอร์ (lattice parameter) ที่กำหนดด้วยความยาวแต่ละด้านตามขอบ และกำหนดด้วยมุมของแกนในโครงข่ายสามมิติ ดังแสดงในภาพที่ 5.21



ภาพที่ 5.21 โครงสร้างผลึกและแลตทิซพารามิเตอร์

ที่มา : <http://www.ig.cas.cz/en/structure/departments/tectonics-and-geodynamics/microstructural-analysis>

แลตทิซพารามิเตอร์ (ภาพที่ 5.21) กำหนดด้วยความยาวตามขอบของด้านและมุมระหว่างด้านของหน่วยเซลล์ ความยาวด้านกำหนดตามความยาวของเวกเตอร์ตามแนวแกนทั้งสามแกนคือ x, y และ z กำหนดด้วยตัวอักษร a, b และ c ตามลำดับ ความยาวด้านกำหนดในหน่วยนาโนเมตร (nm) หรืออังสตรอม (Å, โดย $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ เมตร)

ส่วนมุมระหว่างเวกเตอร์ของความยาวด้านกำหนดด้วยตัวอักษร α , β และ γ โดยที่มุม α เป็นมุมระหว่างด้าน b กับ c มุม β เป็นมุมระหว่างด้าน a กับ c และมุม γ เป็นมุมระหว่างด้าน a กับ b

ในปี ค.ศ.1848 บราวเว (Auguste Bravais) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้เสนอการจัดตำแหน่งของจุดแลตทิซแบบสามมิติในหน่วยเซลล์มาตรฐาน (standard unit cell) ทั้งหมด 7 ระบบ ดังตารางที่ 5.6 แต่เนื่องจากตำแหน่งทรงกลมอาจอยู่ได้ในตำแหน่งที่ต่างกัน 4 แบบของหน่วยเซลล์ คือ จุดแลตทิซอยู่ที่มุม (corner) จุดแลตทิซอยู่ที่ด้านหน้า (face) จุดแลตทิซที่กึ่งกลางตัว (center) และจุดแลตทิซอยู่ที่กลางปลาย (end) ดังนั้น จุดแลตทิซในหน่วยเซลล์จึงแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

- 1) แบบธรรมดา (simple) หรือพริมีทีฟ (primitive) คือทรงกลมอยู่ที่มุม (corner)
- 2) แบบกลางตัว (body-centred) คือทรงกลมอยู่ที่มุมและกึ่งกลางตัว (center-centered)
- 3) แบบกลางหน้า (face-centred) คือทรงกลมอยู่ที่มุมและด้านหน้า (face-centered)
- 4) แบบกลางปลาย (base-centred) คือทรงกลมอยู่ที่มุมและกลางปลาย (base-centered หรือ end-centered)

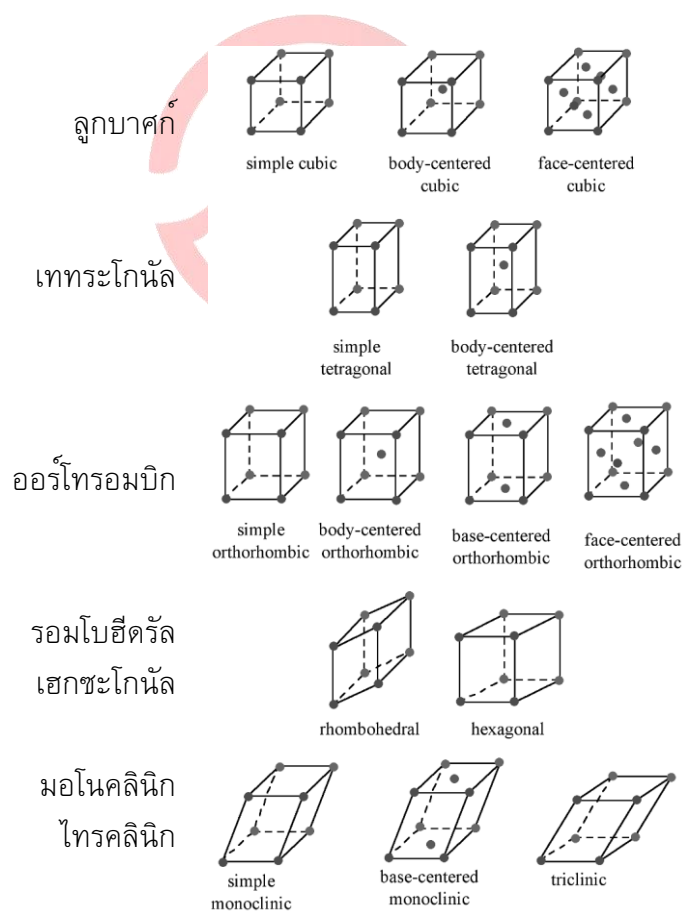
หน่วยเซลล์มาตรฐาน 7 ระบบ แบ่งออกเป็น 14 แบบ เรียกว่า แลตทิซบราวเว (Bravais lattice) ดังแสดงในตารางที่ 5.6

เลขโคออร์ดิเนชัน

เลขโคออร์ดิเนชัน (coordination number, CN) คือจำนวนอะตอมที่ล้อมรอบอะตอมใดอะตอมหนึ่งที่เกิดชิดที่สุดด้วยระยะทางที่เท่ากัน ผลึกของแข็งที่มีเลขโคออร์ดิเนชันสูง จะมีความหนาแน่นมาก

ตารางที่ 5.6 หน่วยเซลล์มาตรฐาน 7 ระบบ และแลตทิซบราวเว

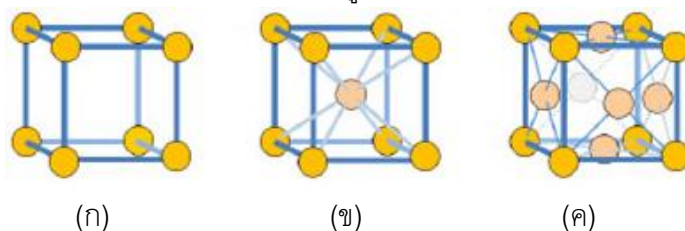
ระบบหน่วยเซลล์	ความยาวด้าน ; มุม	แลตทิซบราวเว
ลูกบาศก์ (cubic)	$a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	ธรรมดา (simple) กลางตัว (body-centered) กลางหน้า (face-centered)
เทตระโกนัล (tetragonal)	$a=b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	ธรรมดา (simple) กลางตัว (body-centered)
ออร์โธโรมบิก (orthorhombic)	$a \neq b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	ธรรมดา (simple) กลางตัว (body-centered) กลางหน้า (face-centered) กลางปลาย (base-centered)
รอมโบฮีดรัล (rhombohedral)	$a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$	ธรรมดา (simple)
เฮกซะโกนัล (hexagonal)	$a=b \neq c$; $\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$	ธรรมดา (simple)
มอนอคลินิก (monoclinic)	$a \neq b \neq c$; $\alpha=\gamma=90^\circ \neq \beta$	ธรรมดา (simple) กลางปลาย (base-centered)
ไตรคลินิก (triclinic)	$a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	ธรรมดา (simple)



ภาพที่ 5.22 แลตทิซบราวเว 14 แบบ

ที่มา: ดัดแปลงจาก <http://cnx.org/content/m16927/latest/>

หน่วยเซลล์โครงสร้างผลึกระบบลูกบาศก์เป็นตัวอย่างโครงสร้างผลึกอย่างง่ายกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากมีด้านทั้งสามด้านเท่ากัน หน่วยเซลล์ระบบลูกบาศก์มีแลตทิซบราวเว 3 แบบ ดังภาพที่ 5.23

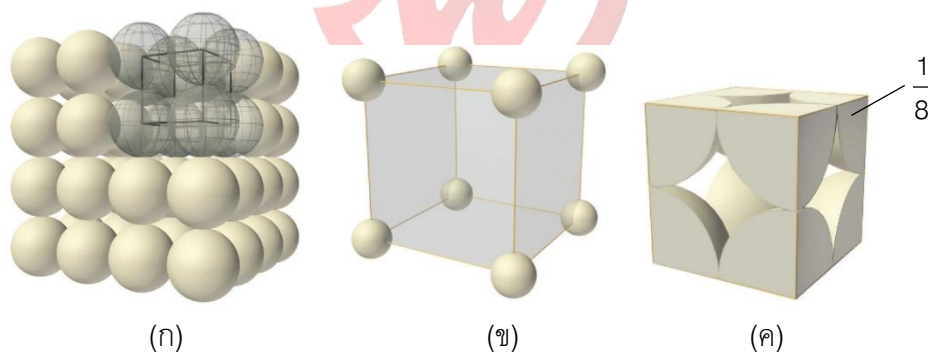


ภาพที่ 5.23 แลตทิซบราวเวของหน่วยเซลล์ระบบลูกบาศก์ (ก) ลูกบาศก์ธรรมดา (ข) ลูกบาศก์กึ่งกลางตัว และ (ค) ลูกบาศก์กึ่งกลางหน้า

ที่มา: ดัดแปลงจาก Averill. Principles of General Chemistry. 2012. (Online).

ลูกบาศก์ธรรมดา (simple cubic, sc) เป็นการเรียงตัวของทรงกลม (แทนอะตอม หรือไอออน หรือโมเลกุล) เป็นชั้น โดยแต่ละชั้นทรงกลมเรียงต่อกันที่จุดศูนย์กลางของแต่ละทรงกลมตรงกัน ดังภาพที่ 5.24(ก) ทรงกลมจะสัมผัสกับทรงกลม 4 ทรงกลมในชั้นเดียวกันและจะสัมผัสกับอีก 2 ทรงกลมของชั้นบนและชั้นล่าง หน่วยเซลล์จึงมีจุดแลตทิซ (หรืออนุภาค) เฉพาะตรงมุมของหน่วยเซลล์รวม 8 มุมโดยแต่ละมุมของหน่วยเซลล์มีลูกบาศก์ 8 ลูกมาติดกัน ดังภาพที่ 5.24(ข)

ดังนั้น หน่วยเซลล์แต่ละหน่วยจะได้เนื้อทรงกลมที่มุมเท่ากับ $1/8$ ของทรงกลม จำนวนเนื้ออนุภาคทั้งหมดในหน่วยเซลล์จึงเท่ากับ 1 ทรงกลม (อนุภาค) ดังภาพที่ 5.24(ค) หน่วยเซลล์แบบลูกบาศก์ธรรมดามีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 เพราะมีทรงกลมข้างเคียงมาสัมผัส 6 ทรงกลม



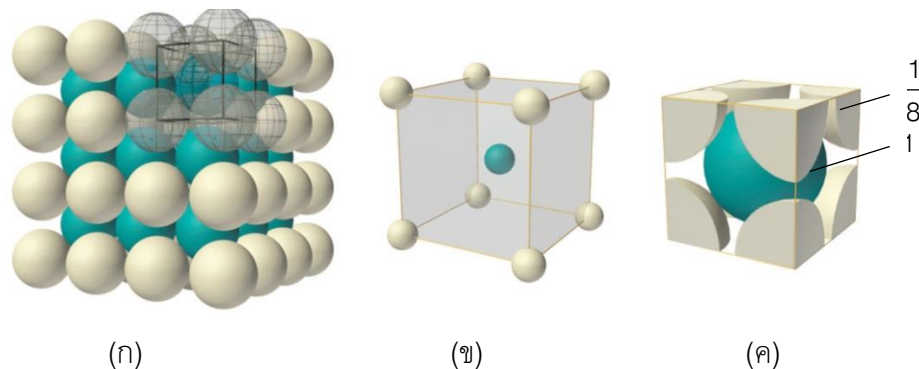
ภาพที่ 5.24 หน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดา(ก) โครงสร้างผลึก (ข) หน่วยเซลล์ และ (ค) ปริมาณอนุภาคในหน่วยเซลล์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Averill. Principles of General Chemistry. 2012. (Online).

ลูกบาศก์กึ่งกลางตัว (body-centered cubic, bcc) การเรียงตัวของชั้นบนและชั้นล่างจะอยู่ตำแหน่งรูช่องว่างของทรงกลม 3 ทรงกลม ดังภาพที่ 5.25(ก) ดังนั้น หน่วยเซลล์จึงมีอนุภาคอยู่ที่มุมของหน่วยเซลล์ และมีอีกหนึ่งอนุภาคอยู่ที่ตรงกลางของหน่วยเซลล์ โดยแต่ละมุมของหน่วยเซลล์มีลูกบาศก์ 8 ลูกมาสัมผัสกันเช่นกัน ดังภาพที่ 5.25(ข)

ดังนั้น หน่วยเซลล์แต่ละหน่วยจะได้เนื้อทรงกลมที่มุมเท่ากับ $1/8$ ของทรงกลม จำนวนเนื้ออนุภาคใน 8 มุมของหน่วยเซลล์เท่ากับ 1 ทรงกลม รวมอีก 1 อนุภาคอยู่ตรงกลางของหน่วยเซลล์ทำให้จำนวน

เนื้ออนุภาคทั้งหมดในหน่วยเซลล์จึงเท่ากับ 2 ทรงกลม (อนุภาค) ดังภาพที่ 5.25(ค) หน่วยเซลล์แบบลูกบาศก์กลางตัว มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 8 เพราะมีทรงกลมข้างเคียงมาสัมผัสด้านบนและด้านล่างอย่างละ 4 ทรงกลม

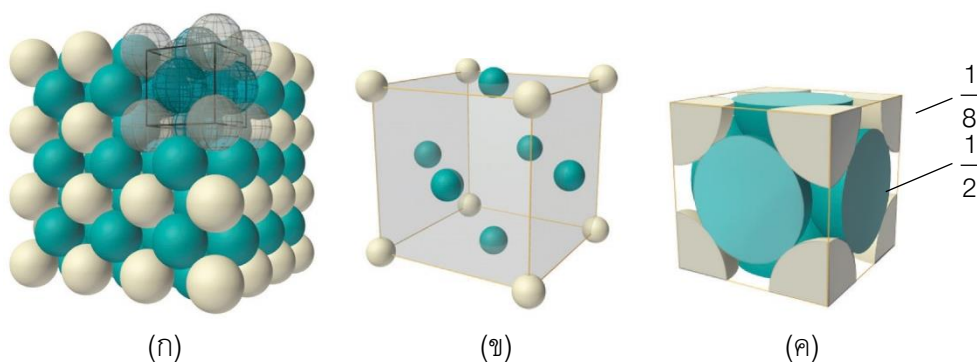


ภาพที่ 5.25 หน่วยเซลล์ลูกบาศก์กลางตัว (ก) โครงสร้างผลึก (ข) หน่วยเซลล์ และ (ค) ปริมาณอนุภาคในหน่วยเซลล์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Averill. Principles of General Chemistry. 2012. (Online).

ลูกบาศก์กลางหน้า (face-centered cubic, fcc) มีอนุภาคอยู่ที่มุมของหน่วยเซลล์และมีอนุภาคอยู่ตรงกลางทุกด้านของหน่วยเซลล์แต่ละมุมของหน่วยเซลล์มีลูกบาศก์ 8 ลูกมาจกดติดกันเช่นกัน ดังภาพที่ 5.26

ดังนั้น หน่วยเซลล์แต่ละหน่วยจะได้เนื้อทรงกลมที่มุมเท่ากับ $1/8$ ของทรงกลม จำนวนเนื้ออนุภาคใน 8 มุมของหน่วยเซลล์เท่ากับ 1 ทรงกลม และที่ตรงกลางหน้าของหน่วยเซลล์ในแต่ละหน้าเนื้อทรงกลมที่หน้าเท่ากับ $1/2$ ของทรงกลม ใน 6 หน้า จึงมีจำนวนเนื้ออนุภาคเท่ากับ 3 ทรงกลม ทำให้จำนวนเนื้ออนุภาคทั้งหมดในหน่วยเซลล์จึงเท่ากับ 4 ทรงกลม (อนุภาค)

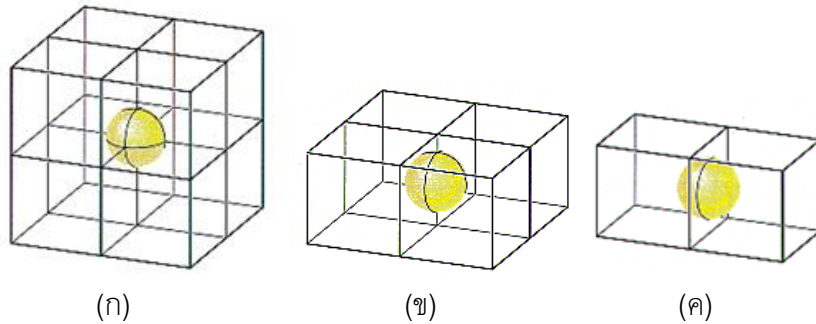


ภาพที่ 5.26 หน่วยเซลล์ลูกบาศก์กลางหน้า (ก) โครงสร้างผลึก (ข) หน่วยเซลล์ และ (ค) ปริมาณอนุภาคในหน่วยเซลล์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Averill. Principles of General Chemistry. 2012. (Online).

เนื่องจากแต่ละหน่วยเซลล์ในผลึกของแข็งจะอยู่ติดกับหน่วยเซลล์อื่นๆ ทุกทิศทาง ดังนั้น จุดแลตทิซ (อะตอมในหน่วยเซลล์) ส่วนใหญ่จะอยู่ร่วมกันกับหน่วยเซลล์ข้างเคียงหลายลักษณะ เช่น ถ้าเป็นหน่วย

เซลล์ลูกบาศก์ทุกชนิด ที่แต่ละมุมของหน่วยเซลล์จะประกอบด้วยอะตอมจำนวน 8 หน่วย ดังนั้นเนื้ออนุภาคของแต่ละหน่วยเซลล์จะเท่ากับ $1/8$ ของทรงกลม การแบ่งอะตอมที่มุมของลูกบาศก์ ดังภาพที่ 5.27(ก) ถ้าเป็นลูกบาศก์กลางหน้า (fcc) นอกจากที่มุมแล้วยังมีอะตอมที่อยู่ติดกับหน่วยเซลล์แบบด้านหน้า ดังภาพที่ 5.27(ข)



ภาพที่ 5.27 ทรงกลมในหน่วยเซลล์ (ก) ทรงกลมที่มุมซึ่งใช้ร่วมกัน 8 หน่วยเซลล์ (ข) ทรงกลมที่มุมซึ่งใช้ร่วมกัน 4 หน่วยเซลล์ และ (ค) ทรงกลมที่ใช้ร่วมกัน 2 หน่วยเซลล์
ที่มา: <http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch13/unitcell.php>

ประสิทธิภาพของการบรรจุ

เนื่องจากการบรรจุอนุภาคในหน่วยเซลล์แตกต่างกันทั้งตำแหน่งและจำนวนอนุภาค ดังนั้นในหน่วยเซลล์แต่ละชนิดจะมีปริมาตรที่ว่าง (พื้นที่ว่าง) ไม่เท่ากัน ประสิทธิภาพของการบรรจุ (packing efficiency, PE) หรือร้อยละที่ปริมาตรของหน่วยเซลล์ถูกบรรจุโดยทรงกลม จะบอกถึงความหนาแน่นของผลึก คำนวณได้ดังนี้

$$\%PE = \frac{V_{(\text{particle in unit cell})}}{V_{(\text{unit cell})}} \times 100 \quad \dots(5.52)$$

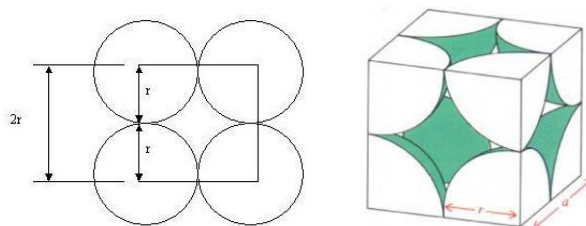
เมื่อ $\%PE =$ ร้อยละประสิทธิภาพของการบรรจุ

$V_{(\text{particle in unit cell})} =$ ปริมาตรของทรงกลมใน 1 หน่วยเซลล์

$V_{(\text{unit cell})} =$ ปริมาตรของหน่วยเซลล์ ($= a^3$)

การคำนวณร้อยละประสิทธิภาพของการบรรจุของหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ ดังนี้

1) ลูกบาศก์ธรรมดา โดยทรงกลมเรียงต่อกันที่จุดศูนย์กลางของแต่ละทรงกลมตรงกัน ทรงกลมจะสัมผัสกับทรงกลม 4 ทรงกลมในชั้นเดียวกันและจะสัมผัสกับอีก 2 ทรงกลมของชั้นบนและชั้นล่าง รัศมีของทรงกลม (r) และความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ (a) แสดงดังภาพที่ 5.28



ภาพที่ 5.28 รัศมีของทรงกลมและความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดา ปริมาตรทรงกลม 1 ทรงกลม หาได้จาก

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \dots(5.53)$$

เมื่อ $V =$ ปริมาตรทรงกลม

$r =$ รัศมีทรงกลม

เมื่อ $a=2r$ ดังนั้น $r=\frac{a}{2}$ (จากภาพที่ 5.28) ปริมาตรทรงกลม 1 ทรงกลม คือ

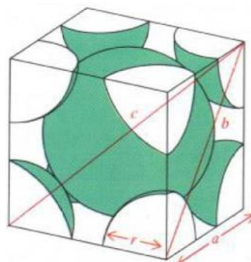
$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a}{2}\right)^3 \quad \dots(5.54)$$

เนื่องจากทรงกลมที่มุมอยู่ร่วมกัน 8 หน่วยเซลล์และมีมุม 8 มุมในลูกบาศก์ 1 ลูก ดังนั้นจึงเท่ากับมีทรงกลม 1 ลูก อยู่ภายในหน่วยเซลล์ของลูกบาศก์ธรรมดา จากสมการ (5.52) ร้อยละประสิทธิภาพของการบรรจุของหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดา คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \%PE &= \frac{\frac{4}{3} \pi r^3}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{\frac{4}{3} \pi \left(\frac{a}{2}\right)^3}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{\frac{4}{3} \pi \frac{a^3}{8}}{a^3} \times 100 = 52.4\% \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละประสิทธิภาพของการบรรจุหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดา เท่ากับ 52 หมายความว่าหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดา 1 หน่วยเซลล์จะมีเนื้ออนุภาคอยู่ร้อยละ 52 และมีพื้นที่ว่างเท่ากับร้อยละ 48

2) ลูกบาศก์กลางตัว หน่วยเซลล์มีอนุภาคอยู่ที่มุมของหน่วย เช่นเดียวกับหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดา และมีอีกหนึ่งอนุภาคอยู่ที่ตรงกลางของหน่วยเซลล์ โดยแต่ละมุมของหน่วยเซลล์มีลูกบาศก์ 8 ลูก มาสัมผัสกันเช่นกัน รัศมีของทรงกลม (r) และความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ (a) แสดงดังภาพที่ 5.29



ภาพที่ 5.29 รัศมีของทรงกลมและความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ลูกบาศก์กลางตัว

เมื่อ $a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$ และ รัศมี $r = \frac{a\sqrt{3}}{4}$ ดังนั้น ปริมาตรทรงกลม 2 ทรงกลม คือ

$$V = 2\left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3 = 2\left(\frac{4}{3}\right)\pi\left(\frac{a\sqrt{3}}{4}\right)^3 \quad \dots(5.55)$$

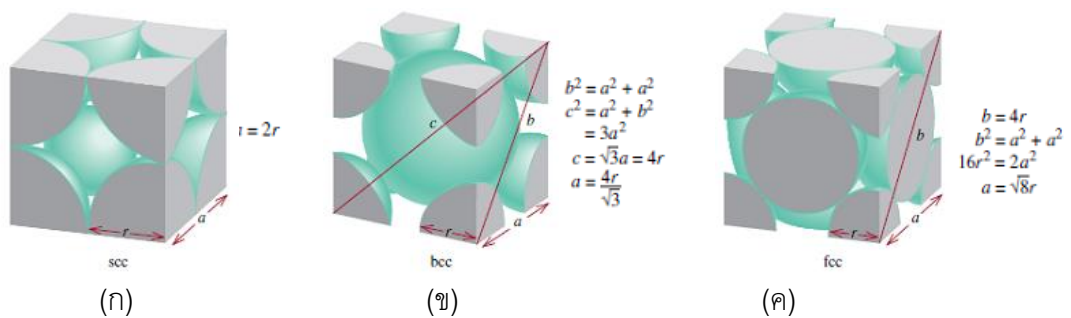
เนื่องจากทรงกลมที่มุ่มอยู่ร่วมกัน 8 หน่วยเซลล์และมีทรงกลมกลางตัวอีก 1 ลูก ดังนั้นจึงเท่ากับมีทรงกลม 2 ลูกอยู่ในหน่วย ร้อยละประสิทธิภาพของการบรรจุ คำนวณได้เป็น

$$\begin{aligned} \%PE &= \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a\sqrt{3}}{4}\right)^3}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4}\right)^3 (a)^3}{a^3} \times 100 = 68\% \end{aligned}$$

ดังนั้น ร้อยละประสิทธิภาพของการบรรจุหน่วยเซลล์ลูกบาศก์กลางตัว เท่ากับ 68 หมายความว่าหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดา 1 หน่วยเซลล์จะมีเนื้ออนุภาคอยู่ร้อยละ 68 และมีพื้นที่ว่างเท่ากับร้อยละ 32

ความหนาแน่นในหน่วยเซลล์

เมื่อพิจารณาจากหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ จำนวนอนุภาคของหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ธรรมดาเท่ากับ 1 อนุภาค ลูกบาศก์กลางตัวเท่ากับ 2 อนุภาค และลูกบาศก์กลางหน้าเท่ากับ 4 อนุภาค ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีอะตอมและความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ลูกบาศก์แต่ละแบบ แสดงดังภาพที่ 5.30



ภาพที่ 5.30 รัศมีอะตอมและความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์ (ก) ลูกบาศก์ธรรมดา (ข) ลูกบาศก์กลางตัว และ (ค) ลูกบาศก์กลางหน้า

ที่มา : Chang and Goldby. Chemistry. 2013. p484

ตัวอย่าง 5.18 พลิกทองคำ (Au) มีหน่วยเซลล์ลูกบาศก์กลางหน้า (fcc) คำนวณหาความหนาแน่นของทองคำ (กำหนดรัศมีอะตอม $Au=144 \text{ pm}$)

วิธีคิด จากภาพที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวตามขอบและรัศมีอะตอม เป็น $a = \sqrt{8}r$

$$\text{ดังนั้น } a = \sqrt{8} \times 144 \text{ pm} = 407 \text{ pm}$$

ปริมาตรของหน่วยเซลล์ (หน่วย cm^3) หาได้จาก

$$V = a^3 = (407 \text{ pm})^3 = 6.74 \times 10^7 \text{ pm}^3$$

$$\text{จาก } 1 \text{ pm}^3 = 10^{-30} \text{ cm}^3$$

$$V = 6.74 \times 10^7 \times 10^{-30} \text{ cm}^3$$

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

จากหน่วยเซลล์แบบลูกบาศก์กลางหน้ามีจำนวนอะตอมทั้งหมดเท่ากับ 4 อะตอม

$$\text{จาก } d = \frac{m}{v}$$

เมื่อ $m =$ น้ำหนัก (กรัม) ของอะตอมต่อหน่วยเซลล์

$v =$ ปริมาตร (cm^3) ของหน่วยเซลล์

น้ำหนัก (m) ของอะตอม 1 อะตอม คำนวณได้จาก

$$Au \text{ } 197.0 \text{ กรัม มีอะตอม } Au \text{ } 6.02 \times 10^{23} \text{ อะตอม}$$

$$Au \text{ } 4 \text{ อะตอม หนัก } = \frac{(4)(197.0)}{6.02 \times 10^{23}} = 1.31 \times 10^{-21} \text{ กรัม}$$

ความหนาแน่น (d) ของอะตอมจึงเท่ากับ

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

ดังนั้น ความหนาแน่นของพลิกทองคำเท่ากับ 19.4 g/cm^3

จากตัวอย่าง 5.18 มีการคำนวณหลายขั้นตอน แต่ถ้ารู้ปริมาตร หรือความยาวด้านของหน่วยเซลล์ สามารถคำนวณความหนาแน่นของหน่วยเซลล์ลูกบาศก์แบบต่างๆ ได้จาก

$$d = \frac{ZM}{NV} \quad \text{.....(5.56)}$$

เมื่อ $d =$ ความหนาแน่นของหน่วยเซลล์ (g/cm^3)

$Z =$ จำนวนอะตอมต่อหน่วยเซลล์

$M =$ มวลอะตอม (g/mol)

$N =$ เลขอาโวกาโดร (6.02×10^{23})

$V =$ ปริมาตรของหน่วยเซลล์ (cm^3)

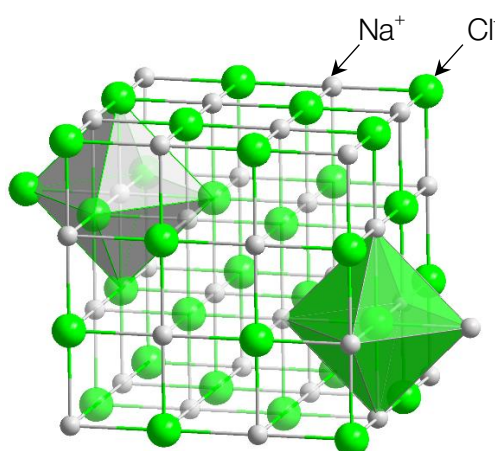
5.2.3 โครงสร้างผลึกสามัญบางชนิด

โครงสร้างผลึกของสารไอออนิก

ลักษณะสำคัญโครงสร้างแบบซิดของโครงสร้างผลึกของสารประกอบไอออนิก คือไอออนบวกและไอออนลบเรียงตัวสลับกัน โดยไอออนลบมีขนาดใหญ่กว่าไอออนบวก จึงอาจพิจารณาได้ว่าโครงสร้างสามัญของผลึกเกลือไอออนิกจะมีโครงสร้างแบบต่างๆ ดังนี้

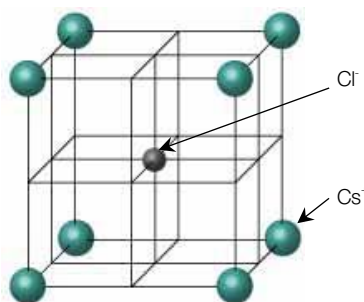
1) โครงสร้างแบบ rock salt คือโครงสร้างแบบซิดกันของไอออนลบที่มีไอออนบวกแทรกในช่องว่าง เช่น Na^+ ในเกลือ NaCl ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า Cl^- จึงแทรกอยู่ในช่องว่างออกตะฮีดรัล ทั้ง Na^+ และ Cl^- ต่างจะล้อมรอบซึ่งกันและกัน 6 ไอออน จึงมีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6:6 ดังภาพที่ 5.39

สารประกอบของเฮไลด์ของโลหะแอลคาไล ออกไซด์และซัลไฟด์ของแอลคาไลน์เอิร์ทที่มีสูตรทั่วไป AB (เมื่อ A คือไอออนบวก และ B คือไอออนลบ) เช่น KCl , KBr , KI , LiI , CaO , CaS , AgCl , AgBr , NH_4I , MnS , MnO และ PbS จะมีสูตรโครงสร้างผลึกเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 5.39 โครงสร้างผลึกโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

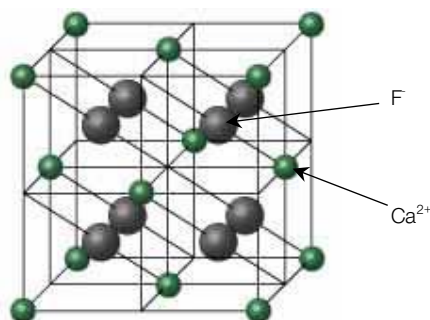
2) โครงสร้างแบบซีเซียมคลอไรด์ (cesium chloride structure) คือโครงสร้างผลึกที่มีขนาดไอออนบวกและไอออนลบใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 5.40 รัศมีไอออนของ Cs และ Cl เท่ากับ 1.67 และ 1.81 นาโนเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเรียงไอออนทั้งสองจึงไม่เป็นแบบซิดกัน แต่จะเป็นแบบลูกบาศก์กลางตัว (bcc) โดยมีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 8:8 สารประกอบเช่น CsBr , CsI , RbCl , RbBr , NH_4Cl และ NH_4Br จะมีสูตรโครงสร้างผลึกเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 5.40 โครงสร้างผลึกซีเซียมคลอไรด์ (CsCl)

ที่มา: Brown et al. Chemistry. 2009. p467

3) โครงสร้างแบบฟลูออไรต์ (fluorite structure) คือสารประกอบที่มีสูตรเป็น AB_2 เช่น CaF_2 จะมี Ca^{2+} เรียงแบบลูกบาศก์กลางหน้า โดย F^- เข้าแทรกในช่องว่างเตตระฮีดรัลทั้งหมด ดังนั้นจึงมี Ca^{2+} อยู่ใกล้ซิต 4 ไอออน และ Ca^{2+} จะมี F^- ล้อมอยู่ 8 ไอออน จึงมีเลขโคออร์ดิเนชัน 8:4 สารประกอบของ SrF_2 , $SrCl_2$, BaF_2 , CdF_2 , PbF_2 , ZrO_2 , HfO_2 , NpO_2 , ThO_2 , PuO_2 และ AmO_2 จะมีสูตรโครงสร้างผลึก ดังภาพที่ 5.41

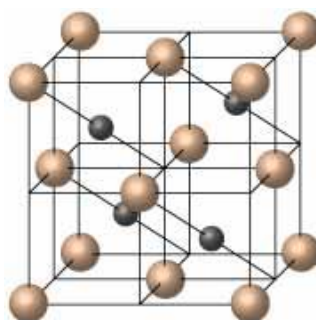


ภาพที่ 5.41 โครงสร้างผลึก CaF_2

ที่มา: Brown et al. Chemistry. 2009. p467

4) โครงสร้างแบบซิงค์ซัลไฟด์ (zinc sulfide structure) มี 2 แบบคือ แบบซิงค์เบลนด์ (zinc blende) รัศมีของสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) เท่ากับ 74 pm และซัลไฟด์ (S^{2-}) เท่ากับ 190 pm อัตราส่วนระหว่างรัศมีของไอออนบวกและลบ (r_+/r_-) เป็น 0.39 จากค่า (r_+/r_-) น้อยกว่า 0.414 บอกจำนวนของเลขโคออร์ดิเนชันได้เท่ากับ 4 ซึ่งในผลึกที่มีสูตรเป็น AB (เมื่อ A คือไอออนบวก และ B คือไอออนลบ) จะมีโครงสร้างได้ทั้ง ซิงค์เบลนด์ (zinc blende) และ แบบเวิร์ตไซต์ (zinc wurtzite)

ถ้า S^{2-} จัดเรียงแบบการบรรจุชิดที่สุดแบบลูกบาศก์ Zn^{2+} จะเข้าไปแทรกตามช่องเตตระฮีดรัล ได้เพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนช่องเตตระฮีดรัลทั้งหมด เกิดเป็นโครงสร้างซิงค์เบลนด์ ดังภาพที่ 5.42



ภาพที่ 5.42 โครงสร้างผลึก ZnS

ที่มา: Brown et al. Chemistry. 2009. p467

โครงสร้างสามัญของผลึกโลหะ

ธาตุที่เป็นโลหะส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวแบบหนึ่งแบบใดระหว่าง การบรรจุชิดที่สุดแบบเฮกซะโกนัล (hcp) และการบรรจุชิดที่สุดแบบลูกบาศก์ (ccp)

ตารางที่ 5.7 รูปแบบโครงสร้างผลึกและสมบัติกายภาพของโลหะบางชนิด

โลหะ	โครงสร้างผลึก	รัศมีอะตอม (nm)	จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)
Al	fcc	0.1431	660	2,647
Cd	hcp	0.1490	321	767
Cr	bcc	0.1249	1,857	2,642
Co	hcp	0.1253	1,495	2,877
Cu	fcc	0.1278	1,084	2,582
Au	fcc	0.1442	1,064	3,080
Pb	fcc	0.1750	327	1,744
Ag	fcc	0.1445	961	2,212
Zn	hcp	0.1332	419	907

ที่มา : ดัดแปลงจาก โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สวอน. เคมี 2. 2549. หน้า 177

ชนิดโครงสร้างผลึกของโลหะเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด ความแข็ง และความหนาแน่น

โลหะที่สามารถดึงเป็นเส้นได้ ได้แก่ ทองแดง (Cu), เงิน (Ag) และทอง (Au) จะเป็นแบบ ccp ทั้งนี้เพราะมีจำนวนอะตอมที่อยู่ชิดกันมากและที่ว่างพอที่จะทำให้อะตอมยืดหดได้

แบบฝึกหัด

- จงบอกสมบัติทางกายภาพของของแข็ง
- จงบอกประเภทของของแข็ง พร้อมยกตัวอย่าง
- อธิบายความหมายของเทอมต่อไปนี้
 - หน่วยเซลล์
 - จุดแลตทิซ
 - แลตทิซพารามิเตอร์
 - แลตทิซบราวเว
- จงอธิบายหน่วยเซลล์ลูกบาศก์ พร้อมวาดภาพหน่วยเซลล์
- จงแสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพของการบรรจุ (%PE) ของลูกบาศก์กลางหน้า (fcc)
- จงบอกเลขโคออร์ดิเนชันของหน่วยเซลล์แบบลูกบาศก์
- โครงสร้างผลึกทองคำ (Au) เป็นแบบลูกบาศก์กลางหน้า (fcc) มีความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์เท่ากับ 407.86 pm จงคำนวณหารัศมีของอะตอมของทองคำ (หน่วยพิโกเมตร)
- รัศมีของอะตอมเงินเท่ากับ 144 pm จงหาความหนาแน่นของอะตอมเงินในหน่วย g/cm^3 และถ้าเงินตกผลึกได้โครงสร้างเป็นแบบ (ก) sc, (ข) bcc และ (ค) fcc กำหนด ความหนาแน่นของเงินที่แท้จริงมีค่าเท่ากับ 10.6 g/cm^3 โครงสร้างผลึกของเงินจะเป็นแบบใด
- โลหะเงินมีความหนาแน่น 10.5 g/cm^3 มีผลึกที่มีความยาวตามขอบของหน่วยเซลล์เท่ากับ 0.41 nm จงหาจำนวนอะตอมที่มีในหน่วยเซลล์