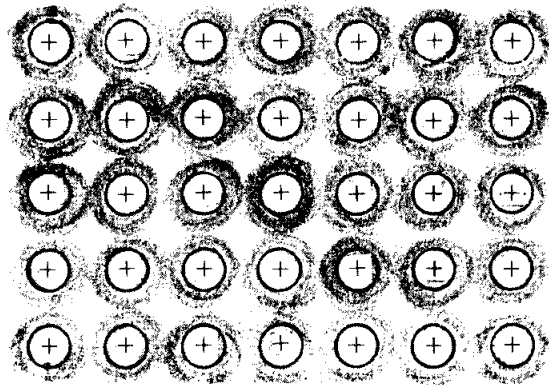


บทที่ 10 พันธะในโลหะ

10.1 โครงสร้างผลึกโลหะ

จากคุณสมบัติของโลหะที่สามารถนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดีทำให้เชื่อว่าวาเลนซ์อิเล็กตรอนในโลหะน่าจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทั่วทั้งผลึกของโลหะนั้น รูปแบบหนึ่งที่แสดงลักษณะดังกล่าวได้แก่การสร้าง “ทะเล” ของประจุลบจากอิเล็กตรอน ซึ่งเราเรียกว่า **ทะเลอิเล็กตรอน (electron sea)** ตามรูป 10.1

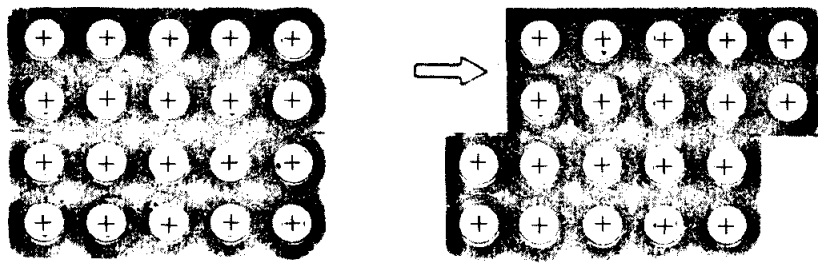


รูป 10.1 ภาคตัดขวางของโครงสร้างผลึกโลหะที่แสดง “ทะเลอิเล็กตรอน”

ทะเลอิเล็กตรอนตามรูป 10.1 นี้ จะยึดอะตอมในโลหะเข้าไว้ด้วยกันได้อย่างเหนียวแน่น เครื่องหมายบวกที่มีวงกลมล้อมรอบแต่ละวงแทนนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนชั้นในที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างพันธะ ส่วนที่แรเงารอบประจุบวกแสดงทะเลอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้ โดยทั่วไป โลหะมีจุดหลอมเหลวและความหนาแน่นสูงมากเมื่อเทียบกับของแข็งอื่น ๆ ดังนั้นทะเลอิเล็กตรอนจะต้องยึดประจุบวกในผลึกได้อย่างแข็งแรง

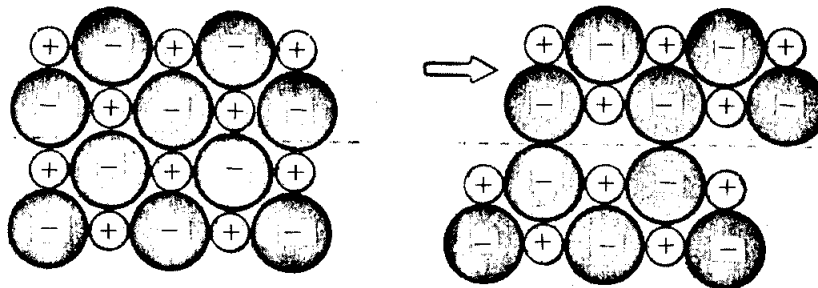
นอกจากรูปแบบโครงสร้างผลึกโลหะตามรูป 10.1 สอดคล้องกับคุณสมบัติการนำความร้อน การนำไฟฟ้า, จุดหลอมเหลว และ ความหนาแน่นของโลหะแล้ว รูปแบบดังกล่าวยังสอดคล้องกับคุณสมบัติ **มัลลิสะบิลิตี** และ **ดักทิลิตี (malleability and ductility)** ของโลหะอีกด้วย (สาร

บัลลอะเบด หมายถึงสารที่สามารถหุบให้เป็นแผ่นบางได้ ; **สารดักไทล์** หมายถึงสารที่สามารถดึงให้เป็นลวดเส้นเล็ก ๆ ได้) กล่าวคือ เมื่อเราดึงหรือเปลี่ยนรูปร่างของโลหะโดยไม่เกิดรอยแตก อะตอมที่อยู่ในระนาบเดียวกันของโครงสร้างผลึกจะมีการย้ายตำแหน่งซึ่งกันและกัน ตามรูป 10.2



รูป 10.2 การย้ายตำแหน่งของอะตอมบนระนาบในผลึกโลหะ

การย้ายตำแหน่งของอะตอมนี้ไม่มีผลทำให้เกิดแรงผลักซึ่งกันและกันในโลหะเพราะทะเลอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ได้ก็ยังยึดประจุบวกในผลึกได้ในลักษณะเดิม ลักษณะแบบนี้ของผลึกโลหะจะตรงกันข้ามกับผลึกอไอออนิก กล่าวคือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนในผลึกอไอออนิกเป็นแรงคูโลมบ์หรือแรงดึงดูดระหว่างไอออนที่มีประจุต่างกันและวาเลนซ์อิเล็กตรอนจะยึดกับนิวเคลียสของอะตอมได้อย่างมั่นคง การย้ายตำแหน่งของไอออนในผลึกอไอออนิกทำให้ไอออนที่มีประจุเหมือนกันอยู่ติดกันก่อให้เกิดแรงผลักอย่างแรง (รูป 10.3) ผลก็คือทำให้ผลึกแตกไม่สามารถรักษารูปร่างเดิมไว้ได้

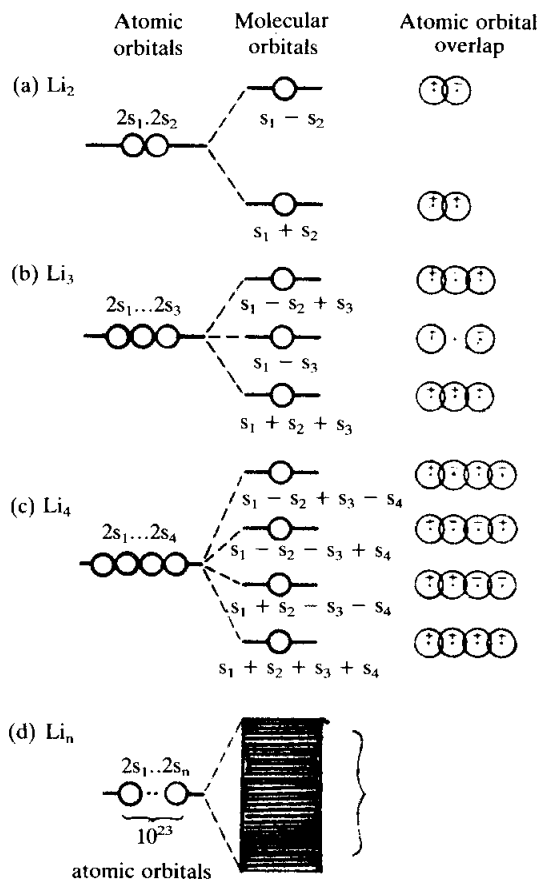


รูป 10.3 การย้ายตำแหน่งของไอออนบนระนาบในผลึกอไอออนิกซึ่งก่อให้เกิดแรงผลักทำให้ผลึกแตก

10.2 การเกิดพันธะในโลหะ

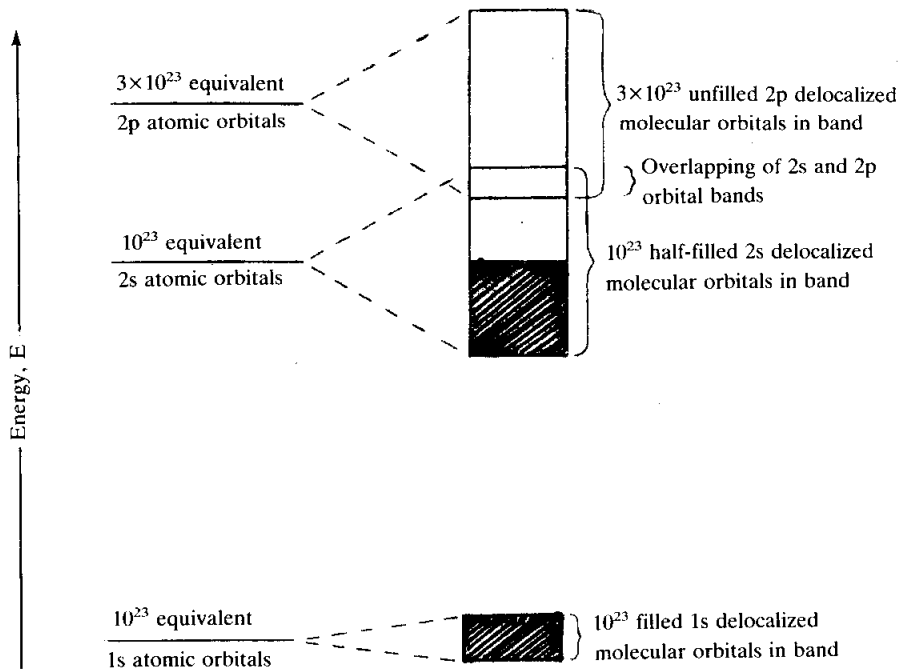
จากรูปแบบ “ทะเลอิเล็กตรอน” ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ของโลหะตามที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 10.1 จึงคิดว่าทฤษฎีที่เหมาะสมที่สุดในการอธิบายพันธะที่เกิดขึ้นในโลหะได้แก่ทฤษฎีโมเลคิวลาร์ออร์บิทัล โดยเราพิจารณาโลหะทั้งก้อนเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (giant molecule)

โมเลกุลหนึ่ง ออร์บิทัลอะตอมทุกออร์บิทัลในผลึกโลหะจะถูกนำมาใช้สร้างออร์บิทัลที่เคลื่อนที่ได้ทั่วทั้งก้อนของโลหะ โดยทั่วไปแต่ละผลึกของโลหะประกอบด้วยจำนวนวาเลนซ์ออร์บิทัลในระดับ 10^{23} ออร์บิทัล ดังนั้นจะมีการสร้างโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลจำนวนมากถึง 10^{23} ออร์บิทัล ระดับพลังงานของโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลจำนวนมากมายเหล่านี้ก็จะอยู่ชิดติดกันมากจนเกิดลักษณะเป็น “แถบของระดับพลังงาน” หรือ “แถบโมเลคิวลาร์ออร์บิทัล” ซึ่งปรากฏเป็นแบบต่อเนื่องแทนที่จะเป็นแบบกระโดดเหมือนในพวกโมเลกุลเล็กทั่วไป ลักษณะดังกล่าวนี้ บางครั้งเราเรียกว่า ลักษณะกึ่งต่อเนื่อง (quasi continuum) เพราะเราไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานที่อยู่ชิดกันมากเหล่านี้ได้ เนื่องจากมีแถบของระดับพลังงานเกิดขึ้นในผลึกโลหะ ในที่นี้ เราจะเรียกทฤษฎีโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลเสียใหม่ว่า **ทฤษฎีแถบของโลหะ** (Band Theory of Metals) ตัวอย่างการเกิดแถบของระดับพลังงานดูได้จากรูป 10.4 ซึ่งแสดงการเกิดแถบจาก 2s ออร์บิทัลของลิเทียม



รูป 10.4 แสดงการสร้างแถบโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลในโลหะลิเทียมจาก 2s ออร์บิทัลของลิเทียมอะตอม

นอกจาก 2s ออร์บิทัลแล้ว แถบของระดับพลังงานในโลหะลิเทียมเกิดจาก 1s และ 2p ออร์บิทัลอีกด้วยดังรูป 10.5



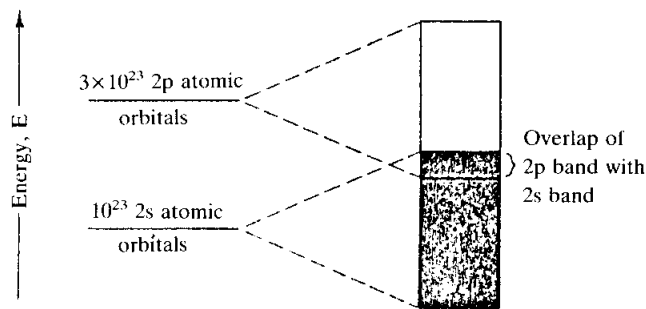
รูป 10.5 แสดงแถบของระดับพลังงานที่เกิดจาก 1s, 2s และ 2p ออร์บิทัลในโลหะลิเทียม

เห็นได้ว่าการที่ระดับพลังงานของ 2s กับ 2p ออร์บิทัลอยู่ใกล้กันมาก ทำให้แถบโมเลคิวลาร์-ออร์บิทัลของ 2s กับ 2p เกยกันอยู่บางส่วน เนื่องจากลิเทียมอะตอมมีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็มใน 1s ออร์บิทัลทำให้แถบ 1s* มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็มทั้งบอนดิงและแอนติบอนดิงโมเลคิวลาร์ออร์บิทัล (แสดงได้ด้วยสีทึบในรูป 10.5) และระดับพลังงานของแถบ 1s อยู่ต่ำกว่าแถบ 2s กับแถบ 2p มาก 1s อิเล็กตรอนจึงไม่ถูกใช้ในการสร้างพันธะแต่อยู่รวมในนิวเคลียสซึ่งมีประจุบวก เราจึงไม่นำแถบ 1s มาพิจารณาในการอธิบายพันธะในโลหะ ส่วน 2s ออร์บิทัลมีอิเล็กตรอนอยู่ 1 ตัว แถบ 2s ก็จะมีอิเล็กตรอนบรรจุได้เต็มเฉพาะบอนดิงออร์บิทัลเท่านั้นหรือบรรจุได้ครึ่งหนึ่งของแถบ 2s (บริเวณสีทึบในแถบ 2s ในรูป 10.5) ถ้าผลึกลิเทียมประกอบด้วยลิเทียมจำนวน 10^{23} อะตอม 2s ออร์บิทัลของลิเทียมจะสร้างแถบ 2s ที่ประกอบด้วยโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลได้จำนวน 10^3 ออร์บิทัล แต่ละออร์บิทัลเหล่านี้บรรจุอิเล็กตรอนได้ 2 ตัว ดังนั้น

* แถบ 1s หมายถึง แถบโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลที่เกิดจาก 1s ออร์บิทัล นั่นเอง ส่วนแถบอื่นเช่น แถบ 2s, แถบ 2p ก็มีความหมายในทำนองเดียวกัน

แถบ 2s สามารถบรรจุอิเล็กตรอนได้เต็มที่ จำนวน 2×10^{23} ตัว แต่ตามที่กล่าวแล้วว่าลิเทียมอะตอมมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวใน 2s ออร์บิทัล โลหะลิเทียมจึงมีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ในบอนด์ออร์บิทัลของแถบ 2s ได้เพียง 10^{23} ตัว

การเกิดพันธะในโลหะตัวอื่นที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 1 ตัว ใน s ออร์บิทัล เราก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับโลหะลิเทียมโดยใช้ทฤษฎีแถบของโลหะเช่นกัน เช่น โลหะโซเดียม : [นีออน] 3s, โลหะเงิน : [คริปทอน] $4d^{10} 5s$ เป็นต้น สำหรับโลหะที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 2 ตัวใน s ออร์บิทัล เช่น โลหะเบริลเลียม : $2s^2$ อิเล็กตรอนควรจะถูกรวบรวมบรรจุได้เต็มหมดทั้งบอนด์และแอนติบอนด์โมเลคิวลาร์ออร์บิทัลของแถบ 2s แต่เนื่องจากแถบ 2s กับแถบ 2p เกยกันอยู่บางส่วน ทำให้แถบ 2s มีอิเล็กตรอนบรรจุได้เพียงบางส่วนเท่านั้น อิเล็กตรอนอีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในแถบ 2p นั่นคือทั้งแถบ 2s และ 2p มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ไม่เต็มดังที่แสดงในรูป 10.6



รูป 10.6 แสดงอิเล็กตรอนที่บรรจุอยู่ในแถบโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลของโลหะเบริลเลียม

ถึงตอนนั้น จะเห็นได้ว่าแถบโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลที่เกิดจากออร์บิทัลอะตอมต่างก็จะมีระดับพลังงานต่างกันด้วย แถบโมเลคิวลาร์ออร์บิทัลที่อยู่บนสุด ซึ่งมีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่บางส่วนหรือบรรจุอยู่เต็ม เรียกว่า **แถบวาเลนซ์ (valence band)** ส่วนแถบที่ไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เลยซึ่งอยู่ถัดขึ้นไปจากแถบวาเลนซ์ เราเรียกว่า **แถบตัวนำ (conduction band)**

การที่โลหะมีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เพียงบางส่วนในแถบที่ประกอบด้วยโมเลคิวลาร์-ออร์บิทัลจำนวนมากมายซึ่งเคลื่อนที่ได้เช่นนี้เป็นผลให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ทั่วทั้งผลึกในลักษณะที่ไม่ทำให้เกิดการแยกกันอย่างเด็ดขาดระหว่างอิเล็กตรอนกับอ็อนบวกในโลหะ กล่าวคือ อิเล็กตรอนหลุดวิ่งได้ทุกทิศทางพร้อมกันรอบประจุบวกของนิวเคลียส ซึ่งเปรียบเสมือนฝูงผึ้งที่บินทำเสียงหึ่ง ๆ รอบรังของมัน ทำให้เกิดทะเลอิเล็กตรอนตามที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 10.1 จึงดูเหมือนว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังนั้นโลหะที่อยู่ตามลำพังไม่ได้ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าหรือขั้วแบตเตอรี่ จึงไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

10.3 ตัวนำไฟฟ้า ฉนวนไฟฟ้า สารกึ่งตัวนำ

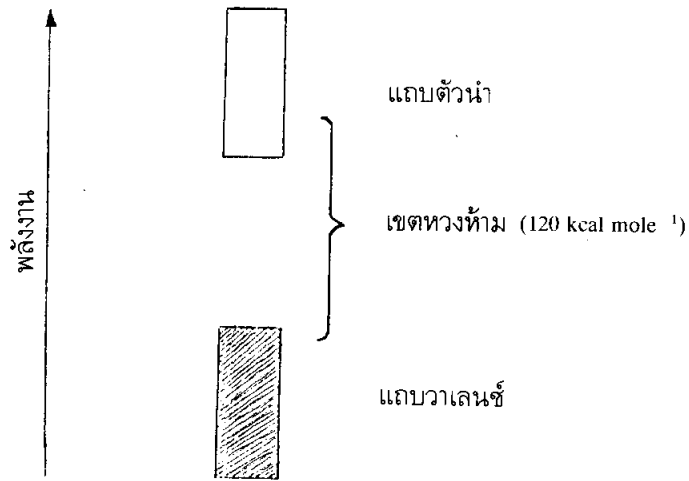
ตัวนำไฟฟ้า

ตามที่กล่าวแล้วว่าอิเล็กตรอนในโลหะวิ่งได้ทุกทิศทางอย่างอิสระเนื่องมาจากลักษณะกึ่งต่อเนื่องของแถบโมเลกุลาร์ออร์บิทัลและการที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็มในแถบดังกล่าว ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งสวนทางกันตลอดเวลา เกิดการหักล้างของการเคลื่อนที่ของมัน เพราะฉะนั้นโลหะที่อยู่ตามลำพังไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ แต่ถ้าเราใส่ความต่างศักย์ไฟฟ้าลงไประหว่าง 2 บริเวณของโลหะ เช่น ต่อเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ อิเล็กตรอนทุกตัวจะถูกกระตุ้นขึ้นไปยังออร์บิทัลที่ว่างภายในแถบเดียวกันพร้อมกันในทิศทางที่วิ่งเข้าหาขั้วบวกของแบตเตอรี่ด้วยพลังงานของมันที่สูงขึ้นกว่าเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ทำให้มีกระแสไหลในวงจร ลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่าโลหะเป็น **ตัวนำไฟฟ้า** ความสามารถในการนำไฟฟ้าของอิเล็กตรอนถูกจำกัดด้วยความถี่ของการชนระหว่างอิเล็กตรอนตัวนำ (conduction electron) กับประจุบวกซึ่งมีพลังงานจลน์และสั่นตามยถากรรมอยู่ในผลึกของโลหะ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การสั่นของประจุบวกเกิดได้บ่อยขึ้น ความสามารถในการนำไฟฟ้าของอิเล็กตรอนจึงลดลง นั่นคือที่อุณหภูมิสูง ๆ โลหะจะนำไฟฟ้าได้ไม่ดี

พิจารณาแถบโมเลกุลาร์ออร์บิทัลของโลหะลิเทียม (รูป 10.5) การนำไฟฟ้าของโลหะลิเทียมเกิดจากการที่อิเล็กตรอนในบอนด์โมเลกุลาร์ออร์บิทัลของแถบ 2s ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังออร์บิทัลที่ว่างภายในแถบเดียวกัน (แอนติบอนด์โมเลกุลาร์ออร์บิทัลของแถบ 2s) ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งได้ทั่วทั้งก้อนของลิเทียมในทิศทางเดียวกัน โลหะลิเทียมจึงนำไฟฟ้าได้ ต่อไปหากพิจารณาแถบโมเลกุลาร์ออร์บิทัลของโลหะเบริลเลียม (รูป 10.6) การนำไฟฟ้าของโลหะเบริลเลียมเกิดจากอิเล็กตรอนในทั้งแถบ 2s และแถบ 2p ถูกกระตุ้นขึ้นไปยังออร์บิทัลที่ว่างของแถบ 2p ในลักษณะเดียวกับโลหะลิเทียม ถ้าแถบ 2s กับแถบ 2p ไม่แยกกัน โลหะเบริลเลียมจะไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าเพราะต้องใช้พลังงานมากในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างแถบทั้งสอง

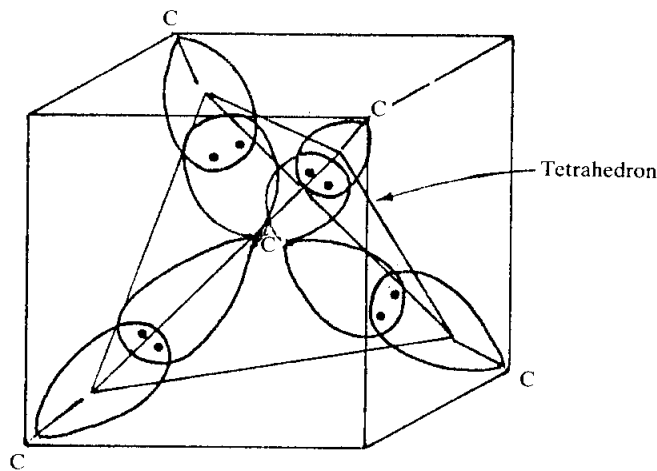
ฉนวนไฟฟ้า

พวกของแข็งที่ไม่ใช่โลหะเช่น คาร์บอน ซิลิคอนไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ เราเรียกว่า **ฉนวนไฟฟ้า** สารพวกนี้มีแถบวาเลนซ์ชนิดที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็มและช่องว่างระหว่างระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์กับระดับพลังงานต่ำสุดของแถบตัวนำที่เรียกว่า **เขตหวงห้าม** หรือ **ช่องว่างระหว่างแถบ** ห่างกันมาก เช่น เพชร มีช่องว่างระหว่างแถบ $120 \text{ kcal.mole}^{-1}$ หรือ 5.2 eV . ดังรูป 10.7



รูป 10.7 แสดงช่องว่างระหว่างแถบหรือเขตหวงห้ามในผลึกเพชร

โครงสร้างของเพชรที่ทำให้เกิดเขตหวงห้ามขึ้นนี้เป็นแบบเตตราฮีดรอล ซึ่งเกิดจากออร์บิทัลผสม sp^3 ของคาร์บอนแต่ละตัวดังรูป 10.8



รูป 10.8 โครงสร้างเตตราฮีดรอลของเพชร ซึ่งแสดงการเกยกันระหว่างออร์บิทัลผสม sp^3 ของคาร์บอนตรงกลางทั้ง 4 ออร์บิทัลกับ ออร์บิทัลผสม sp^3 ของคาร์บอนที่เหลือ

เนื่องจากคาร์บอนแต่ละอะตอมมี 4 วาเลนซ์อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนทั้งหมดในผลึกเพชรจึงถูกใช้ในการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (ตามรูป 10.8) ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระเหลืออยู่สำหรับใช้นำไฟฟ้าอย่างโลหะ ผลึกเพชรจึงเป็นฉนวนไฟฟ้า

ถ้าต้องการให้ฉนวนนำไฟฟ้าได้ เราต้องให้พลังงานที่สูงพอสำหรับกระตุ้นอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ให้ข้ามเขตหวงห้ามไปยังแถบตัวนำ พลังงานนี้ต้องเป็นพลังงานกระตุ้นสำหรับ

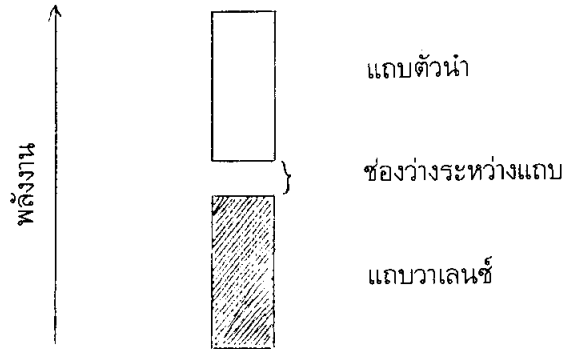
ขบวนการนำไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงหรือความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มากพอเท่านั้น จึงจะสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนให้เกิดขบวนการดังกล่าวได้ การทำแบบนี้เราเรียกว่าทำให้เกิด **dielectric breakdown**

สารกึ่งตัวนำ

สารที่มีคุณสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่างฉนวนกับตัวนำเรียกว่า **สารกึ่งตัวนำ** เราจัดประเภทสารกึ่งตัวนำออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1. สารกึ่งตัวนำแบบอนุமானจากตัวเอง (Intrinsic Semiconductor)

สารพวกนี้มีแถบวาเลนซ์ชนิดที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็มแต่ช่องว่างระหว่างแถบแคบตามรูป 10.9



รูป 10.9 ช่องว่างระหว่างแถบในสารกึ่งตัวนำแบบอนุமானจากตัวเอง

ตัวอย่าง สารกึ่งตัวนำแบบนี้ ได้รวบรวมไว้แล้วในตาราง 10.1

ตาราง 10.1 : ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำแบบอนุமானจากตัวเองบางตัว

สารกึ่งตัวนำ	ช่องว่างระหว่างแถบ (kcal.mole^{-1})
ซิลิคอน	25
เจอร์เมเนียม	14
ดีบุกสีเทาชนิดแอลฟา	1.8

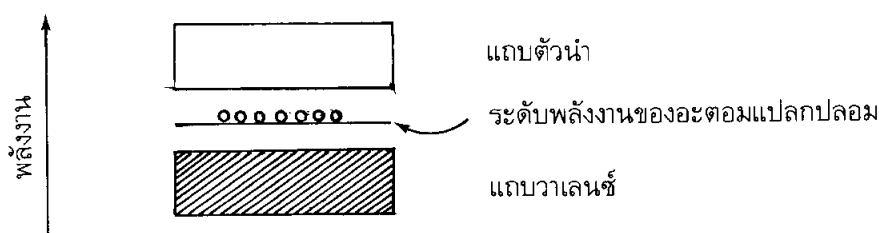
การที่ช่องว่างระหว่างแถบมีค่าไม่มากเช่นนี้ ทำให้เราสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ให้ขึ้นไปยังแถบตัวนำได้ด้วยพลังงานเพียงเล็กน้อย สารกึ่งตัวนำจึงนำไฟฟ้าได้ ความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจะตรงกันข้ามกับโลหะ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารกึ่งตัวนำสามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเพราะจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะเพิ่มตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

2. สารกึ่งตัวนำแบบอนุமானจากของอื่น (Extrinsic Semiconductor)

สารกึ่งตัวนำแบบนี้เกิดจากการใส่อะตอมแปลกปลอมปริมาณเล็กน้อย (ขนาดเป็น

ส่วนในหนึ่งล้านส่วน หรือ พี.พี.เอ็ม) แทรกลงไปในโครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำแบบอนุมานจากตัวเอง เพื่อให้สารกึ่งตัวนำที่มีอะตอมแปลกปลอมปนอยู่นั้นสามารถนำไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น การใส่อะตอมแปลกปลอมแบบนี้ ทำให้ระดับพลังงานของอะตอมแปลกปลอมอยู่ในช่องว่างระหว่างแถบของสารกึ่งตัวนำเดิม นั่นคือ ทำให้ช่องว่างระหว่างแถบของสารกึ่งตัวนำแบบอนุมานจากตัวเองที่แคบอยู่แล้ว แคบยิ่งขึ้น การกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบตัวนำจึงทำได้ง่ายขึ้น ทำให้สารกึ่งตัวนำนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น การใส่อะตอมแปลกปลอมในสารกึ่งตัวนำแบบอนุมานจากตัวเองเพื่อให้กลายเป็นสารกึ่งตัวนำแบบอนุมานจากของอื่นนี้ เราอาจกระทำได้ 2 วิธี ทำให้ได้สารกึ่งตัวนำเป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) กับ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor)

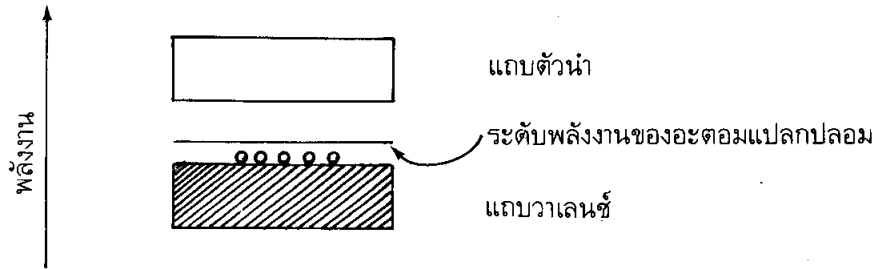
สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเกิดจากการใส่อะตอมแปลกปลอมที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวนมากกว่าสารกึ่งตัวนำเดิม ซึ่งระดับพลังงานของอะตอมแปลกปลอมที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ใกล้กับแถบตัวนำของสารกึ่งตัวนำเดิม เมื่อเพิ่มพลังงานเพียงเล็กน้อยอิเล็กตรอนของอะตอมแปลกปลอมจะถูกกระตุ้นขึ้นไปยังแถบตัวนำได้ดังรูป 10.10



รูป 10.10 แถบของระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

ตัวอย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำชนิดนี้คือ ผลึกซิลิคอนที่มีฟอสฟอรัสปนอยู่เล็กน้อย ซึ่งเตรียมได้โดยเติมฟอสฟอรัสปริมาณเล็กน้อย (สัก 2-3 พี.พี.เอ็ม) ลงในสารละลายที่กำลังตกผลึกซิลิคอนอยู่ อะตอมของฟอสฟอรัสจะแทรกอยู่ในโครงสร้างผลึกของซิลิคอน เนื่องจากผลึกซิลิคอนมีโครงสร้างแบบเดียวกับเพชร คือ เป็นแบบเตตราฮีดรอล และซิลิคอนแต่ละอะตอมมี 4 วาเลนซ์อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนทั้งหมดจึงถูกใช้ในการสร้างพันธะระหว่างซิลิคอนแต่ละอะตอม ส่วนฟอสฟอรัสที่เติมลงไปมี 5 วาเลนซ์อิเล็กตรอน มันสามารถแทรกอยู่ในโครงสร้างผลึกของซิลิคอนได้โดยใช้อิเล็กตรอนเพียง 4 ตัวเท่านั้น (คือ ซิลิคอนอะตอมใดอะตอมหนึ่งอาจถูกแทนที่ด้วยฟอสฟอรัสอะตอม) อิเล็กตรอนตัวที่ 5 ของฟอสฟอรัสจึงเป็นอิสระ สามารถเคลื่อนที่ได้ในสนามไฟฟ้า ฟอสฟอรัสจึงทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนได้ การกระตุ้นอิเล็กตรอนตัวนี้ขึ้นไปยังแถบตัวนำของซิลิคอนเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้าต้องใช้พลังงานเพียง $0.25 \text{ kcal.mole}^{-1}$ เท่านั้น

สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพีเกิดจากการใส่อะตอมแปลกปลอมที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวนน้อยกว่าสารกึ่งตัวนำเดิม ซึ่งระดับพลังงานของอะตอมแปลกปลอมที่ว่างต้องอยู่ใกล้กับแถบวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำเดิม เมื่อเพิ่มพลังงานเพียงเล็กน้อย อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำเดิมจะถูกกระตุ้นขึ้นไปยังระดับพลังงานที่ว่างของอะตอมแปลกปลอมได้ ดังรูป 10.11



รูป 10.11 แถบของระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำชนิดพี

ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ ได้แก่ ผลึกซิลิคอนที่มีโบรอนปนอยู่เล็กน้อย เนื่องจากโบรอนมี 3 วาเลนซ์อิเล็กตรอน เมื่อมันไปแทรกอยู่ในผลึกซิลิคอนโบรอนแต่ละอะตอมจึงมีออร์บิทัลว่างเหลืออยู่ การกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ของซิลิคอนเข้าไปยังออร์บิทัลที่ว่างของโบรอนได้จะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งได้ทั่วทั้งผลึก ผลึกดังกล่าวจึงนำไฟฟ้าได้ การนำไฟฟ้าในลักษณะนี้เกิดได้โดยอิเล็กตรอนในออร์บิทัลที่อยู่บนสุดของแถบวาเลนซ์ของซิลิคอนกระโดดขึ้นไปยังออร์บิทัลที่ว่างของโบรอนแล้วทำให้ออร์บิทัลบนสุดของซิลิคอนว่าง อิเล็กตรอนในออร์บิทัลที่อยู่ถัดลงมาจะขึ้นไปแทนที่เรื่อย ๆ เกิดการเคลื่อนที่พร้อมกันของอิเล็กตรอนทุกตัวในผลึกเช่นเดียวกับโลหะ ในที่นี้โบรอนจึงทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

แบบฝึกหัดบทที่ 10

1. ทะเลอิเล็กตรอน คืออะไร ใช้อธิบายคุณสมบัติแม่เหล็กและดักกักลิเทียมได้ อย่างไร
2. จงอธิบายการเกิดแถบ 2s ในโลหะลิเทียม
3. ลวดทองแดงนำไฟฟ้าได้อย่างไร เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การนำไฟฟ้าของลวดทองแดงจะเป็น อย่างไร
4. ทำไมเบริลเลียมจึงไม่เสถียรในรูป diatomic molecule ซึ่งเป็นก๊าซ แต่เสถียรในสภาพของแข็ง
5. ท่านเข้าใจอย่างไรกับประโยคที่ว่า “ผลึกซิลิคอนที่มีฟอสฟอรัสปนอยู่เล็กน้อยเป็นสาร กึ่งตัวนำชนิดเอ็น”
6. ทั้งคาร์บอน (C) และซิลิคอน (Si) ต่างก็เป็นอะตอมในกรุ๊ป IV เหมือนกัน แต่ทำไมอันย ุรูปหนึ่งของคาร์บอน คือ เพชร จึงนำไฟฟ้าไม่ได้ ในขณะที่ซิลิคอนนำไฟฟ้าได้ และคุณสมบัติ การนำไฟฟ้าของซิลิคอนจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพราะเหตุใด
7. เจอร์เมเนียมนำไฟฟ้าได้อย่างไร
8. เบริลเลียมจะเป็นฉนวนไฟฟ้า หากแถบ 2s และแถบ 2p ไม่แยกกัน เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
9. จงอธิบายคุณสมบัติ “สารกึ่งตัวนำ” ของซิลิคอน
10. ทำไมเราจึงสามารถดึงโลหะทองแดงให้เป็นเส้นลวด เพื่อผลิตสายไฟได้