หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

สารกึ่งตัวนำเป็นกลุ่มของแข็งที่มีสมบัติเชิงไฟฟ้าในช่วงกลางระหว่างฉนวนและโลหะ เป็นสารที่มีสมบัติเฉพาะกลุ่มที่สำคัญคือ สามารถปรับความหนาแน่นและชนิดของพาหะนำไฟฟ้าได้โดยวิธีการโด๊ป (dope) มีผลตอบสนองเชิงไฟฟ้าเมื่อมีแสงตกกระทบ (photo-electronic effect) และมีผลตอบสนองเชิงไฟฟ้าเมื่อมีพลังงานความร้อนตกกระทบ(thermo-electric effect) เป็นต้น จากสมบัติพิเศษเหล่านี้ได้มีการนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำ (semiconductor devices) มากมาย เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ IC ไดโอดเปล่งแสง(LED) เลเซอร์ เซลล์แสงอาทิตย์ ฯลฯ สำหรับอุปกรณ์กึ่งตัวนำสุดท้ายที่กล่าวถึง คือเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เมื่อเกิดวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานของโลกทำให้ทั่วโลกมุ่งเน้นศึกษาพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อที่จะให้เป็นแหล่งผลิตพลังงานสำหรับอนาคต

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ อาศัยการดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงโดยสารกึ่งตัวนำ กระบวนการดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำก็คือการกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบนำ (conduction band) พร้อมกับมีอนุภาคโฮล (hole) เหลือทิ้งไว้ในแถบวาเลนซ์ อนุภาคทั้งคู่ที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่เป็นพาหะ (carrier) สำหรับนำกระแสไฟฟ้าต่อไป ถึงขั้นตอนนี้เราอาจถือได้ว่ามีการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการแยกอิเล็กตรอนและโฮลออกจากกันก่อนที่อนุภาคทั้งคู่จะรวมกัน(recombination) สู่สภาวะเดิม การแยกอนุภาคทั้งคู่สามารถทำได้โดยการมีรอยต่อ (junction) แบบใดแบบหนึ่งในบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่มีการดูดกลืนแสง สนามไฟฟ้าในบริเวณรอยต่อจะแยกอิเล็กตรอนและโฮลในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรภายนอกต่อไป

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบสองประการด้วยกัน ประการแรก ได้แก่ สมบัติทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำที่นำมาประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ สมบัติว่านี้คือ จะต้องมีลักษณะโครงสร้างและขนาดช่องว่างแถบพลังงานที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ของ Loferski[1] สารกึ่งตัวนำที่เหมาะสำหรับการประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีช่องว่างแถบพลังงานระหว่าง 1 ถึง 2 eV และจะดีที่สุดที่ 1.5 eV ขณะเดียวกัน ลักษณะแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap)จะสามารถดูดกลืนแสงได้ดีกว่าแบบเฉียง(indirect band gap) นอกจากนี้พาหะที่เกิดขึ้นจะต้องอยู่ได้นานพอ (long life time) และเคลื่อนที่ได้ดี (high mobility)

ประการที่สอง ก็คือ ลักษณะการออกแบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่สามารถแยกพาหะทั้งคู่ออกจากกันได้ดี ความต้านทานภายในต่ำ พร้อมกับสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าแก่วงจรภายนอกได้ดี

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ขณะนี้ ประดิษฐ์ขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการศึกษาข้อมูลต่างๆมาช้านานแล้วและมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น c-Si (Crystalline silicon) , a-Si (Amorphous silicon) มีข้อได้เปรียบตรงที่ได้รับการศึกษาวิจัยมาช้านานจนกระทั่งเทคโนโลยีเกี่ยวกับธาตุนี้ได้พัฒนาจนเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่การออกแบบให้เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำแบบใดแบบหนึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่า ขณะเดียวกันก็มีข้อเสียตรงที่มีช่องว่างแถบพลังงาน 1.12 eV ซึ่งต่ำไปเล็กน้อยและลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบเฉียงทำให้การดูดกลืนแสงด้อยลง GaAs มีช่องว่างแถบพลังงาน 1.43 eV ลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบตรง ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ดีกว่าแต่ราคาสูงกว่า Si มาก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CdS/Cu_2S ให้ประสิทธิภาพต่ำกว่า 10 % เนื่องจาก CdS มีช่องว่างแถบพลังงาน 2.42 eV ซึ่งสูงไปเล็กน้อย ถึงแม้ว่าลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบตรงแต่ความสามารถในการดูดกลืนแสงด้อยกว่าทั้งสองชนิดที่กล่าว ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจึงยังไม่เป็นที่น่าพอใจ บางชนิดยังมีราคาแพงอยู่มาก ดังนั้นจึงทำให้มีการศึกษาและวิจัยเพื่อที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ดียิ่งขึ้น สารกึ่งตัวนำที่นักวิจัยให้ความสนใจเป็นอย่างมากที่จะพัฒนาประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและประสบความสำเร็จเบื้องต้น คือสารประกอบชาลโคไพไรท์ (chalcopyrite compounds) [2,3,4] ในกลุ่ม $Cu\text{-}III\text{-}VI_2$ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง $CuInSe_2$ [5] ซึ่งมีลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบตรงและช่องว่างแถบพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 0.92-1.07 eV ที่อุณหภูมิ 300 K [2] ได้รับความสนใจมากทั้งในทางทฤษฎีและการทดลอง เนื่องจากสามารถทำให้มีชนิดการนำไฟฟ้าได้ทั้งชนิดเอ็นและชนิดพี [2,3,6] ด้วยการแอนนีลหรือการ

โด๊ป ซึ่งจะสามารถนำไปประดิษฐ์เป็นรอยต่อพี-เอ็นโฮโมจังค์ชัน (p-n homojunction) หรือเฮทเทอร์โรจังค์ชัน (heterojunction) ที่จะนำไปประยุกต์ทำอุปกรณ์ชิ้งตัวนำอื่นๆ ได้อีกนอกเหนือจากเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว เช่น อุปกรณ์ตรวจแสง (photodetector) เลเซอร์ไดโอด (laser diode) เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางที่ประดิษฐ์ขึ้นจาก $CuInSe_2$ ได้รับการพัฒนาจนได้ประสิทธิภาพสูงประมาณ 12 % [7]

ถึงแม้ว่าห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำใหญ่ๆ หลายแห่งของโลกจะได้พยายามสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของ $CuInSe_2$ ให้มีขนาดใหญ่และปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นก็ตาม ได้มีการศึกษาสมบัติเฉพาะของแผ่นฟิล์มบางซึ่งไม่ใช่สมบัติของผลึกเดี่ยว $CuInSe_2$ จริงๆ ดังนั้นการศึกษาสมบัติของผลึกเดี่ยว $CuInSe_2$ จะทำให้เราทราบถึงขอบเขตของการพัฒนาแผ่นฟิล์มบางว่าจะทำได้มากที่สุดเท่าใด ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้คือ

1. เตรียมผลึกเดี่ยวสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ให้มีชนิดของการนำไฟฟ้าเป็นชนิดพี และชนิดเอ็นตามที่ต้องการ
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าและชนิดของการนำไฟฟ้าด้วยขบวนการความร้อน
3. วัดค่าพลังงานไอออไนซ์ (ionization energy) ของระดับสิ่งเจือปนชนิดอินทรินสิก (intrinsic impurity levels) ของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$
4. ศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของรอยต่อพี-เอ็น โฮโมจังค์ชัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. นำธาตุ Cu ,In ,และ Se ที่มีความบริสุทธิ์สูงมาหลอมเพื่อให้ได้ผลึกกึ่งตัวนำ CuInSe ด้วยวิธีของบริดจ์แมน-สโตคบาร์เกอร์ (Bridgman - Stockbarger method) พร้อมทั้งเติมหรือลดปริมาณสารต่างๆ ลงไปในขณะเตรียม เช่น Cu, In, Se, Ge และ GaAs
2. ทดสอบชนิด (type) และสภาพต้านทานไฟฟ้า

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยขบวนการความร้อนโดยแอนนีลที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน

4. วัดค่าพลังงานไอออไนซ์ของระดับสิ่งเจือปนชนิดอินทรินสิก

5. ศึกษารอยต่อพี-เอ็น โฮโมจังค์ชันโดยการแพร่กระจาย (diffuse) โลหะอินเดียมเข้าไปในสารประกอบ $CuInSe_2$ ชนิดพีด้วยการแอนนีล วัดลักษณะสอกระแส-ศักย์ไฟฟ้า (I-V characteristic) ลักษณะสอความจุ-ศักย์ไฟฟ้า (C-V characteristic)

6. นำข้อมูลเหล่านี้มาสรุปเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาอุปกรณ์กึ่งตัวนำต่างๆ และการประยุกต์วิจัยด้านอื่นๆต่อไป

จากการศึกษาผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่เตรียมได้ทำให้ทราบเทคนิคในการเตรียมสารให้มีชนิดการนำไฟฟ้าเป็นชนิดเอ็นหรือชนิดพี การเปลี่ยนแปลงชนิดและสภาพต้านทานไฟฟ้าอันจะเป็นแนวทางในการเตรียมผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น การศึกษารอยต่อพี-เอ็นโฮโมจังค์ชัน ทำให้ทราบแนวทางที่จะเตรียมรอยต่อที่ดี การวิจัยนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ทั้งเชิงวิชาการและการประยุกต์ต่อไปในอนาคต