บทที่ 1
บทนำ

ประมาณปี พ.ศ. 2520 เกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันของโลกจึงเป็นแรงผลักดันให้นักวิจัยมุ่งเสาะแสวงหาแหล่งพลังงานอื่น ๆ มาทดแทนน้ำมันรวมทั้งวิจัยและพัฒนาสารกึ่งตัวนำที่มีอยู่เดิมและชนิดใหม่ ๆ ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับอนาคตอย่างจริงจัง วัสดุที่จะใช้ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุในอุดมคติ (ideal material) (1) มากที่สุดคือ หาได้ง่าย ราคาถูก ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้ประสิทธิภาพสูง เสถียรภาพ (stable) ในสภาวะแวดล้อมที่ใช้งาน มีอายุการใช้งานยาวนาน และเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้กันในขณะนี้มี 4 ชนิดคือ c-Si (Crystalline silicon), a-Si (Amorphous silicon), GaAs และ CdS/Cu_2S ถึงแม้ว่า Si จะได้รับการศึกษาและวิจัยกันมาช้านานจนกระทั่งพัฒนาเป็นเทคโนโลยีระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แล้วก็ตาม แต่ยังมีข้อด้อยอยู่มาก เช่น พบว่ามีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 1.12 eV ซึ่งต่ำไปเล็กน้อยและลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบเฉียง (indirect bandgap) ทำให้การดูดกลืนแสงน้อยลง สำหรับ a-Si ที่ผลิตออกมาใช้นั้นเป็นชนิดฟิล์มบาง (thin film) ขนาด 1 $cm.^2$ ถึง 10^3 $cm.^2$ มีอายุการใช้งานสั้นเนื่องจากถูกแสงนาน ๆ จะเสื่อมคุณภาพ ส่วน GaAs นั้นมีช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 1.43 eV และลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง (direct bandgap) ทำให้สามารถดูดกลืนแสงได้ดีแต่ต้นทุนในการผลิตสูงกว่า Si มาก เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CdS/Cu_2S ให้ประสิทธิภาพต่ำกว่า 10 % เนื่องจาก CdS มีช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 2.42 eV ซึ่งสูงไปเล็กน้อย ถึงแม้ว่าลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานจะเป็นแบบตรงก็ตามแต่การดูดกลืนแสงด้อยกว่า Si และ GaAs อาจจะกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่น่าพอใจ บางชนิดยังมีราคาแพงอยู่มาก ดังนั้น จึงมีการศึกษาและวิจัยเพื่อที่จะพัฒนาเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นรวมทั้งแสวงหาสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่ที่มีสมบัติดีกว่าที่มีอยู่เดิมแล้ว

สารกึ่งตัวนำที่นักวิจัยให้ความสนใจเป็นอย่างมากและประสบความสำเร็จเบื้องต้นคือสารประกอบชาลโคไพไรท์ (Chalcopyrite compound) ในกลุ่ม Cu-III-VI_2(2,3)ได้ถูกประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์และพัฒนาจนมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง $CuInSe_2$(4,5) ได้รับความสนใจมากทั้งในทางทฤษฎีและการทดลองรวมถึงการออกแบบให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น ขณะเดียวกันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางที่ประดิษฐ์ขึ้นจาก $CuInSe_2$ นี้ก็ได้รับการพัฒนาจนได้ประสิทธิภาพสูงประมาณ 10 % เชื่อว่าจะสามารถผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในอนาคตอันใกล้นี้ (1,5)

ถึงแม้ว่าที่ห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำใหญ่ ๆ หลายแห่งของโลกจะได้พยายามสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางของ $CuInSe_2$ ให้มีขนาดใหญ่และปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นแล้วก็ตาม แต่การศึกษาสมบัติของผลึกกึ่งตัวนำชนิดนี้เท่าที่ได้รับรายงานจนถึงปัจจุบันยังขาดความสมบูรณ์อยู่มาก สิ่งสำคัญในการวิจัยประการหนึ่งคือความต้องการที่จะเตรียมผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ให้ได้ขนาดใหญ่พอที่จะใช้ในการทดลองและต้องเป็นผลึกที่มีความสมบูรณ์สูงอีกทั้งข้อบกพร่องของผลึก (Crystal defects) ต้องมีค่าน้อยที่สุด นักวิจัยส่วนใหญ่ยังต้องเตรียมผลึกกึ่งตัวนำชนิดดังกล่าวนี้ขึ้นมาเองด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ตามความต้องการ ในปัจจุบันการเตรียมผลึกด้วยวิธีบริดจ์แมน (Bridgman method) (6) และวิธีพาสารประกอบด้วยไอของสารเคมี (7) (chemical vapour deposition, CVD) ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ $15 \times 5 \times 2$ mm^3 และ $10 \times 10 \times 2$ mm^3 ตามลำดับ ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้คือสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ในการเตรียมผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ และศึกษาสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่เตรียมได้นี้ ซึ่งได้แก่ ค่าคงที่ของโครงผลึก (lattice constant) ลักษณะและขนาดของช่องว่างแถบพลังงานรวมทั้งสมบัติเชิงไฟฟ้า (electrical properties)สำหรับขั้นตอนในการวิจัยมีดังนี้

1. สร้างระบบเตาเลื่อนเพื่อใช้เตรียมสารด้วยวิธีของบริดจ์แมน-สโตคบาร์เกอร์ (Bridgman-Stockbarger method) กำหนดให้อัตราเร็วของการเลื่อนเตาเท่ากับ 0.7 mm./hr. และสร้างเตาในแนวเฉียง 45 องศาพร้อมทั้งวงจรไฟฟ้ากึ่งกลศาสตร์ที่ต่อพ่วงเข้ากับตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อเพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้แก่เตาโดยอัตโนมัติ

2. นำธาตุ Cu, In และ Se ที่มีความบริสุทธิ์สูงมาหลอมเพื่อให้ได้ผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ตามวิธีในขั้นตอนที่ 1

3. นำผลึกกึ่งตัวนำของ $CuInSe_2$ ที่เตรียมได้มาวัดหาค่าคงที่ของโครงผลึกโดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction)

4. ศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงเพื่อหาขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน

5. ทดสอบชนิด (type) และสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity)

6. ศึกษารอยต่อแบบโอห์มมิก (ohmic contact) โดยใช้โลหะผสมของอินเดียม (In alloys) วัดความสูงของกำแพงศักย์ (barrier height) ที่เกิดขึ้นที่รอยต่อนั้น รวมทั้งค่าพลังงานไอออไนซ์ (ionization energy) ของระดับพลังงานสิ่งเจือปนชนิดอินทรินสิก (intrinsic impurity levels) ของสารกึ่งตัวนำ

7. นำข้อมูลเหล่านี้มาสรุปเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการพัฒนาวิธีการเตรียมสารและการวิจัยประยุกต์ด้านอื่น ๆ ต่อไป

จากการศึกษาผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่เตรียมได้ทำให้ทราบเทคนิคในการเตรียมสาร วิธีหาค่าคงที่ของโครงผลึก ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานตลอดจนถึงชนิดและสภาพต้านทานไฟฟ้าอันจะเป็นแนวทางในการเตรียมผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้นรวมทั้งการศึกษาเพื่อให้ได้รอยต่อแบบโอห์มมิกที่ใช้งานได้ดีทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิต่ำอันเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ การวิจัยนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ทั้งเชิงวิชาการและการประยุกต์ต่อไปในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย