บทที่ 1

# บทนำ

สารกึ่งตัวนำเป็นกลุ่มของแข็งที่มีสมบัติเชิงไฟฟ้าในช่วงกลางระหว่างฉนวนและโลหะ เป็นสารที่มีสมบัติเฉพาะกลุ่ม ที่สำคัญ คือ สามารถปรับความหนาแน่นและชนิดของพาหะนำไฟฟ้าได้โดยวิธีการโดป (dope) มีผลตอบสนองเชิงไฟฟ้าเมื่อมีแสงหรือเมื่อมีพลังงานความร้อนตกกระทบ (photo-electronic and thermo-electric effect) จากสมบัติพิเศษเหล่านี้ได้มีการนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำอย่างมากมาย เซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์เหล่านั้นซึ่งมีบทบาทสำคัณในการพัฒนาเพื่อจะหาแหล่งผลิตพลังงานมาทดแทนพลังงานเก่าที่กำลังจะหมดไปจากโลก

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยการดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงโดยสารกึ่งตัวนำ กระบวนการดูดกลืนพลังงานโฟตอนแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำก็คือการกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบเวเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบการนำ (conduction band) มากขึ้น ทำให้เกิดอนุภาคโฮล (hole) ขึ้นในแถบเวเลนซ์ อนุภาคทั้งคู่ที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่เป็นพาหะ (carrier) สำหรับนำกระแสไฟฟ้าต่อไป สำหรับคู่อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดขึ้นแล้วต้องทำการแยกตัวออกจากกันก่อนที่จะเกิดการรวมตัวกัน (recombination) กลับสู่สภาพเดิม โดยสามารถแยกพาหะทั้งคู่ด้วยสนามไฟฟ้าจากรอยต่อ (junction) ในบริเวณที่มีการดูดกลืนแสง ซึ่ง จะแยกอิเล็กตรอนและโฮลให้อยู่ในทิศทางตรงข้าม ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรภายนอกต่อไป

เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำที่นำมาประดิษฐ์ คือจะต้องมีลักษณะโครงสร้างและขนาดช่องว่างแถบพลังงานอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 eV [1] และจะดีที่สุดที่ 1.5 eV ลักษณะแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap) จะสามารถดูดกลืนแสงได้ดีกว่าแบบเฉียง (indirect band gap) พาหะที่เกิดขึ้นจะต้องอยู่ได้นานพอ (long life time) และเคลื่อนที่ได้ดี (high mobility) ในสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ยังขึ้นกับลักษณะ

การออกแบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่สามารถแยกพาหะทั้งคู่ออกจากกันได้ดี ความต้านทานภายในต่ำ พร้อมกับสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าแก่วงจรภายนอกได้ดี

ในปัจจุบันสารกึ่งตัวนำที่นักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากที่จะพัฒนาประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและประสบความสำเร็จเบื้องต้น คือ สารประกอบชาลโคไพไรท์ (chalcopyrite compounds) [2,3,4] ในกลุ่ม Cu-III-$VI_2$ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง $CuInSe_2$ [5] ซึ่งมีลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบตรงและช่องว่างแถบพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 0.92 - 1.07 eV ที่อุณหภูมิ 300 K [2] สามารถทำให้มีชนิดการนำไฟฟ้าได้ทั้งชนิดพีและชนิดเอ็น [2,3,4] ได้ตามต้องการ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางที่ประดิษฐ์ขึ้นจาก $CuInSe_2$ ได้รับการพัฒนาจนได้ประสิทธิภาพสูงประมาณ 16.9% [7]

การศึกษาสมบัติของผลึกเดี่ยว $CuInSe_2$ จะทำให้เราทราบถึงขอบเขตของการพัฒนาฟิล์มบางว่าจะทำได้มากที่สุดเท่าใด

**จุดประสงค์ของงานวิจัย**

1. ปลูกผลึกเดี่ยวสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ให้มีชนิดของการนำไฟฟ้าเป็นชนิดพีและชนิดเอ็นตามที่ต้องการ โดยพัฒนาเทคนิคในการหลอมสาร
2. ทดสอบชนิดของการนำไฟฟ้า วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า ความหนาแน่นพาหะและสภาพเคลื่อนที่ได้ของฮอลล์ของผลึกที่ปลูกได้
3. วัดโฟโตรีเฟลกแทนซ์ของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ เพื่อศึกษาโครงสร้างแถบพลังงานของผลึกที่ปลูกได้

**วิธีการดำเนินการวิจัย**

1. ศึกษาวิธีการหลอมสารและพัฒนาเทคนิคการควบคุมเตาหลอม โดยใช้เครื่องกำเนิดความต่างศักย์ (programable voltage) และคอมพิวเตอร์ (personal computer) เข้าช่วย พร้อมทั้งปรับให้เตาหลอมเอียงตัวขึ้นลงได้ในขณะที่สารกำลังหลอมเหลวอยู่
2. นำธาตุ Cu , In และ Se ที่มีความบริสุทธิ์สูงมาหลอมโดยวิธีไดเรกชันนัลฟรีซซิง

เพื่อให้ได้ผลึกกึ่งตัวนำ$CuInSe_2$ ด้วยวิธีของบริดจ์แมน-สโตคบาร์เกอร์ (Bridgman - Stockbarger method ) แบบแนวนอน พร้อมทั้งเติมปริมาณสาร ต่างๆตามสัดส่วนที่พอเหมาะลงไปในขณะเตรียม เช่น Se หรือ GaAs

3. ตรวจสอบโครงสร้างของผลึกที่ปลูกได้ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
4. ทดสอบชนิดการนำไฟฟ้าด้วยวิธีขั้วความร้อน
5. ทำการตัดผลึกที่เตรียมได้ให้เป็นชิ้นบางด้วยเครื่องสตริงซอ
6. วัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีแวนเดอเพาว์ (Van der Pauw method)
7. วัดสภาพต้านทานไฟฟ้าสภาพเคลื่อนที่ได้ของฮอลล์และความหนาแน่นพาหะด้วยระบบวัดฮอลล์
8. ศึกษาแถบพลังงานของผลึกที่ปลูกได้ด้วยการวัดโฟโตรีเฟลกแทนซ์ (photoreflectance)
9. ทำการฟิต (fitting) ข้อมูลที่ได้จากการวัดโฟโตรีเฟลกแทนซ์เทียบกับทฤษฎี
10. นำข้อมูลที่ได้จากแต่ละขั้นตอนมาสรุปเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาอุปกรณ์กึ่งตัวนำต่างๆและการประยุกต์วิจัยด้านอื่นๆต่อไป

จากการศึกษาผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่ปลูกได้ ทำให้ทราบถึงเทคนิคในการปลูกผลึกให้มีชนิดการนำไฟฟ้าเป็นชนิดพีหรือเอ็น การเปลี่ยนแปลงชนิดและสภาพต้านทานไฟฟ้ารวมทั้งความหนาแน่นพาหะ อันจะเป็นแนวทางในการปลูกผลึกกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น จากการศึกษาโฟโตรีเฟลกแทนซ์ทำให้ทราบโครงสร้างแถบพลังงาน ของผลึกที่ปลูกได้ ซึ่งเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งที่จะยืนยันว่าผลึกที่ปลูกได้นั้นมีความเป็นผลึกที่ดีหรือไม่ การวิจัยนี้จึง เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่มีการประยุกต์การใช้งานต่อไปในอนาคต

สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้มีเนื้อหาทั้งหมด 5 บท โดยบทที่ 2 จะเกี่ยวกับการศึกษาวิธีการปลูกผลึกสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ การเตรียมอุปกรณ์และเทคนิคที่ใช้ในการหลอมสาร การปลูกผลึกโดยวิธีของบริดจ์แมน - สโตคบาร์เกอร์ ตามแนวนอน การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ บทที่ 3 จะเกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าของผลึกที่ปลูกได้อันประกอบด้วยการทดสอบชนิดการนำไฟฟ้าด้วยวิธีขั้วความร้อน การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีแวนเดอเพาว์การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า สภาพเคลื่อนที่ได้ของฮอลล์ และ ความหนาแน่นพาหะด้วยระบบฮอลล์ บทที่ 4 เกี่ยวกับการศึกษาโฟโตรีเฟลกแทนซ์ของผลึกกึ่งตัวนำ

$CuInSe_2$ ซึ่งเริ่มต้นด้วย การเตรียม ผิวหน้าของชิ้นผลึก การกัดกร่อนผิวหน้าของชิ้นผลึกด้วยสารเคมี ระบบวัด และการวัดโฟโตรีเฟลกแทนซ์ การฟิตต์กราฟข้อมูลสเปกตรัม (spectrum) ของโฟโตรีเฟลกแทนซ์ที่วัดได้เทียบกับทฤษฎี บทที่ 5 เป็นการสรุปและวิเคราะห์ผลจากการทดลอง