บทที่ 1
บทนำ

สสารต่างๆ โดยทั่วไปที่อุณหภูมิห้องมีสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity ρ) อยู่ในช่วง 10^{-6} – 10^{12} Ω–cm จากสมบัติดังกล่าวใช้จำแนกประเภทของสสารได้เป็น โลหะ สารกึ่งตัวนำ และ ฉนวน สำหรับสารกึ่งตัวนำจะมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วง 10^{-3} – 10^{6} Ω–cm การศึกษาสมบัติต่างๆ ของสารกึ่งตัวนำบอกให้รู้ถึงลักษณะโดยทั่วไปของสารกึ่งตัวนำทั้งในแง่โครงสร้างของผลึก โครงสร้างแถบพลังงาน สมบัติเชิงไฟฟ้า และ สมบัติเชิงแสง ผลจากการศึกษาค้นคว้าได้ข้อสรุปที่เป็นสมบัติที่สำคัญของสารกึ่งตัวนำ ดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานเป็นลบ (negative temperature coefficient of resistance) กล่าวคือ ความต้านทานเพิ่มเมื่ออุณหภูมิลดลง

2. มีสมบัติเกี่ยวกับการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสตรง (rectifying effects or at least non ohmic behaviour)

3. ให้กำลังทางไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนมีค่าสูง (high thermoelectric power)

4. มีความไวต่อแสงโดยอาจทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้น หรือมีความต้านทานเปลี่ยนไป (sensitive to light–either producing a photo–voltage or changing in resistance)

5. สามารถเติมอะตอมสิ่งเจือปนลงไป (doping) ทำให้ความต้านทานเปลี่ยนไป และ ทำให้ระดับพลังงานเฟอร์มี (Fermi energy level) เปลี่ยนไป

จากสมบัติพิเศษของสารกึ่งตัวนำนี้ได้มีการนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำ (semiconductor devices) มากมาย เช่นไดโอด ทรานซิสเตอร์ วงจรรวม(integrated circuits) ไดโอดเปล่งแสง (light–emitting diodes) เลเซอร์ (laser) เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) ฯลฯ สำหรับอุปกรณ์กึ่งตัวนำตัวสุดท้ายที่กล่าวถึง คือ เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ อาศัยการดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงโดยสารกึ่งตัวนำ กระบวนการดูดกลืนพลังงานโฟตอนแสงแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำก็คือ การกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ ไปยังแถบนำ ทำให้อนุภาคโฮล (hole) เหลือทิ้งไว้ในแถบวาเลนซ์ อนุภาคทั้งคู่ที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่เป็นพาหะ (carrier) สำหรับนำกระแสไฟฟ้าต่อไป เมื่อมีการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้ว ต่อไปจะเป็นการแยกอิเล็กตรอนและ โฮล ออกจากกัน ก่อนที่อนุภาคทั้งคู่จะรวมกัน (recombination) สู่สภาวะเดิม การ

แยกอนุภาคทั้งคู่สามารถทำได้โดยการมีรอยต่อ (junction) ในบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณที่มีการดูดกลืนแสง สนามไฟฟ้าในบริเวณรอยต่อจะแยกอิเล็กตรอนและโฮลในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรภายนอกต่อไป

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบสองประการด้วยกัน ประการแรก คือ สมบัติทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำที่นำมาประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์สมบัตินี้จะต้องมีลักษณะโครงสร้างและขนาดช่องว่างแถบพลังงานที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ของ Loferski [1] สารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมสำหรับการประดิษฐ์เป็นเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีช่องว่างแถบพลังงานระหว่าง 1 ถึง 2 eV และ จะดีที่สุดที่ 1.5 eV ขณะเดียวกัน ลักษณะแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap) จะสามารถดูดกลืนแสงได้ดีกว่าแบบเฉียง (indirect band gap) นอกจากนี้พาหะอิสระที่เกิดขึ้นจะต้องอยู่ได้นานพอ (long life time) และ มีสภาพเคลื่อนที่ได้ดี (high mobility) ประการที่สอง คือ ลักษณะการออกแบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่สามารถแยกพาหะทั้งคู่ออกจากกันได้ดี ความต้านทานภายในต่ำ พร้อมกับสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าแก่วงจรภายนอกได้ดี

ปัจจุบันอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทต่างๆ มักผลิตขึ้นจากซิลิกอน (Si) หรือ เยอร์มาเนียม (Ge) สารทั้งสองชนิดสามารถนำมาผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำชนิดต่างๆ ได้อย่างมากมาย และมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากได้รับการพัฒนามานานแล้ว อย่างไรก็ตามสารทั้งสองชนิดนี้ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 10 % แต่เนื่องจากซิลิกอนมีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบเฉียงซึ่งทำให้ดูดกลืนแสงได้ไม่มากเท่ากับสารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง ดังนั้นจึงมีการหาสารกึ่งตัวนำมาทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แทนซิลิกอน สารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดซีลีไนด์ เป็นสารกึ่งตัวนำอีกตัวหนึ่งที่ได้รับความสนใจให้นำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์แทนซิลิกอน เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงถึง 17.6 % [2]

คอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดซีลีไนด์(CIGS) มีสูตรทางเคมีเป็น $Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$ ในกรณีที่ $x \sim 0.2$ ในรูปของฟิล์มบาง (thin film) เป็นชั้นดูดกลืนแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง ในขณะเดียวกันสมบัติของสารประกอบชนิดนี้ยังไม่มีการศึกษากันอย่างละเอียด ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมสารประกอบกึ่งตัวนำชนิดนี้ในรูปผลึกเดี่ยวให้มีความสมบูรณ์สูงทำได้ยาก ซึ่งปัจจุบันนี้มีการค้นคว้าวิจัยในด้านทฤษฎี และ การทดลองอย่างแพร่หลายเกี่ยวกับสารประกอบชาลโคไพไรท์ (chalcopyrite compound) สำหรับผลงานวิจัย CIGS ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในรูปของฟิล์มบาง ข้อมูลที่ได้จึงขาดความถูกต้อง การที่จะให้ได้ผลึกเดี่ยวที่มีความสมบูรณ์สูง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาที่จะนำไปสู่การประยุกต์ในลักษณะที่มีประสิทธิภาพ CIGS เป็นสารกึ่งตัวนำของสารประกอบไตรภาค (ternary compound) และสารประกอบที่เกิดจากการแทนที่กันระหว่าง

In กับ Ga ซึ่งเป็นธาตุในกลุ่มเดียวกัน โครงสร้างผลึกแบบชาลโคไพไรท์ มีโครงสร้างเหมือนกับการนำหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบ ซิงค์เบลนด์ (zincblende) 2 หน่วยเซลล์มาวางซ้อนกันตามแนวแกนซีของผลึก (c-axis) ทำให้โครงสร้างทั้งหมดมี 16 อะตอมต่อหนึ่งหน่วยเซลล์ การวิจัยนี้อาศัยแนวทางจากความสำเร็จของการเตรียมผลึกเดี่ยว $CuInSe_2$ (CIS) [3] เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมผลึกเดี่ยวของ CIGS ให้ได้ขนาดใหญ่ในระดับเซนติเมตร และมีความสมบูรณ์สูง โดยอาศัยการศึกษาเกี่ยวกับส่วนประกอบของผลึกที่ตำแหน่งต่างๆ โครงสร้างผลึก สมบัติเชิงไฟฟ้า และ สมบัติเชิงแสง

ในงานวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงขั้นตอน และ วิธีของการปลูกผลึก CIGS รวมไปถึงการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบดูสมบัติต่างๆ ของผลึกที่ได้ปลูกขึ้นด้วย โดยมีจุดประสงค์ในการวิจัยดังนี้

1. ปลูกผลึกเดี่ยวสารกึ่งตัวนำ CIGS
2. วิเคราะห์หาส่วนประกอบและโครงสร้างของ CIGS
3. ตรวจสอบสมบัติเชิงไฟฟ้าของ CIGS
4. ตรวจสอบสมบัติเชิงแสงของ CIGS

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการปลูกผลึก CIGS โดยวิธีของบริดจ์แมนแบบแนวนอน (horizontal Bridgman method)

2. ทำเตา และหาโปรไฟล์ของเตาหลอมสาร

3. เตรียมสารและหลอมสารปลูกผลึก CIGS โดยวิธีไดเรกชั่นนัลฟรีซซิง (directional freezing)โดยเลือกวิธีของบริดจ์แมนแบบแนวนอน (horizontal Bridgman method)

4. นำผลึก CIGS ที่ปลูกได้ไปหาปริมาณสารที่เป็นส่วนประกอบโดย energy dispersive spectrometer (EDS)

5. ตรวจสอบโครงสร้างของผลึก CIGS ที่ปลูกได้ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction)

6. ตรวจสอบสมบัติเชิงแสงของผลึก CIGS ที่ปลูกได้ โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง และหาช่องว่างแถบพลังงาน

7. ตรวจสอบสมบัติเชิงไฟฟ้าของผลึก CIGS ที่ปลูกได้ โดยการ ทดสอบชนิดการนำไฟฟ้าด้วยวิธีชั้วความร้อน วัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าด้วยวิธีแวนเดอเพาร์ (Van der Pauw method) และวัดสภาพเคลื่อนที่ได้ของฮอลล์ด้วยระบบฮอลล์

8. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แต่ละขั้นตอน และสรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ที่จัดทำขึ้นในครั้งนี้มีเนื้อหาทั้งหมด 7 บท โดยบทที่ 1 จะเป็นบทนำ บทที่ 2 จะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก การหาค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ การหาส่วนประกอบด้วยวิธี energy-dispersive X-ray analysis (EDX)และโครงสร้างแถบพลังงานของ CIGS บทที่ 3 จะเกี่ยวกับสมบัติเชิงแสง และการวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของผลึก CIGS บทที่ 4 เนื้อหาเกี่ยวกับสมบัติเชิงไฟฟ้า ความหนาแน่นของพาหะอิสระ การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า และปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) บทที่ 5 จะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการปลูกผลึก CIGS บทที่ 6 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย