ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันสารกึ่งตัวนำ (semiconductors) ได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ตั้งแต่มีการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ (transistor) จากสารกึ่งตัวนำขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2490 โดยเริ่มเข้ามาแทนที่หลอดสุญญากาศในเครื่องมือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ การพัฒนาสารกึ่งตัวนำและอุปกรณ์กึ่งตัวนำ (semiconductor devices) ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และเกี่ยวข้องกับงานด้านต่าง ๆ มากมาย และการพัฒนายังคงดำเนินต่อไปด้วยความรวดเร็ว

อุปกรณ์กึ่งตัวนำส่วนใหญ่ประดิษฐ์ขึ้นจากธาตุซิลิกอน (Si) และ เยอร์มาเนียม (Ge) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นการผลิตและใช้งานในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังมีสารอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่กำลังได้รับการพัฒนาเช่นกัน สารประกอบแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงคู่ (binary compound) ก็ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นการใช้งานเช่นเดียวกัน สารอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งเป็นสารประกอบเชิงสาม (ternary compound) ในกลุ่มชาลโคไพไรท์ (chalcopyrite) มีแนวโน้มว่าจะสามารถประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์เชิงแสง (photonic devices) ได้ดี เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cells) และตัวตรวจวัดแสง (photodetectors) เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานที่เหมาะสม การศึกษาทั้งในเชิงวิชาการและการประยุกต์ก็กำลังดำเนินอยู่ในขณะนี้

การพัฒนาสารกึ่งตัวนำ ขั้นตอนที่สำคัญก็คือการศึกษาวิธีการและเงื่อนไขต่าง ๆ ในการปลูกผลึกของสารกึ่งตัวนำให้ได้ขนาดใหญ่และมีความสมบูรณ์สูง การศึกษาสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ทั้งสมบัติเชิงกลศาสตร์ สมบัติเชิงความร้อน สมบัติเชิงไฟฟ้า และสมบัติเชิงแสง เป็นต้น การศึกษาสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ เหล่านี้กระทำทั้งในเชิงทฤษฎี และการทดลอง

สมบัติที่สำคัญที่สุดของสารกึ่งตัวนำที่จะนำไปสู่การอธิบายสมบัติต่าง ๆ ข้างต้น ตลอดจนสมบัติที่จะนำไปสู่การประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำ คือ โครงสร้างแถบพลังงาน (energy band structure) ของอิเลกตรอนในผลึกของสารกึ่งตัวนำนั้น สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการพัฒนาแล้ว เช่น Si, Ge, และ GaAs ได้รับการศึกษาโครงสร้างแถบพลังงานทั้งเชิงทฤษฎีและการทดลองโดยวิธีการต่าง ๆ กันมาเป็นเวลานานแล้ว

สำหรับสารประกอบกึ่งตัวนำในกลุ่มชาลโคไพไรท์ เนื่องจากโครงสร้างผลึก และองค์ประกอบของสารมีความซับซ้อนกว่าสารกึ่งตัวนำในกลุ่มอื่น โครงสร้างแถบพลังงานที่ได้จากการ คำนวณทางทฤษฎีจึงมีความซับซ้อนกว่า การทดลองวัดระดับพลังงานต่าง ๆ ในโครงสร้างแถบพลังงานสามารถยืนยันผลการคำนวณได้ดีพอสมควร

สารกึ่งตัวนำที่ได้ทำการวิจัยนี้ ได้แก่สารคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ (Copper Indium Diselenide: $CuInSe_2$) เป็นสารกึ่งตัวนำกลุ่ม $I-III-VI_2$ ที่เตรียมได้จากสภาวะหลอมเหลว แล้วนำผลึกเดี่ยวของ $CuInSe_2$ มาสร้างรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) โดยแพร่อินเดียม (In) เข้าทางผิว เพื่อให้สามารถสังเกตผลตอบสนองต่อแสง (photoresponse) ได้

โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงสามมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบชาลโคไพไรท์ มีลักษณะพิเศษหลายประการเนื่องมาจากความไม่เป็นลูกบาศก์ของผลึก ได้แก่ มีการแยก (splitting) ของแถบวาเลนซ์ (valence band) เนื่องมาจากอันตรกริยาสปิน-ออร์บิท (spin-orbit interaction) และอันตรกริยาจากสนามศักย์ของผลึกซึ่งไม่เป็นลูกบาศก์ (non-cubic crystal field) การศึกษาโดยการทดลองอาจกระทำได้หลายวิธี เช่นวิธีมอดูเลท รีเฟลกแตนซ์ (modulated reflectance) วิธีต่าง ๆ เป็นต้น แต่การศึกษาดังกล่าวต้องการอุปกรณ์ที่ซับซ้อน การศึกษาสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสง (photoconductivity) เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถบอกรายละเอียดของโครงสร้าง-

แถบพลังงานของสารได้ โดยไม่ยุ่งยากและซับซ้อนมากนัก ขณะเดียวกันจะได้สเปกตรัมของผลตอบสนองต่อแสง (photo-response spectrum) ซึ่งเป็นสมบัติทางด้านการประยุกต์อีกด้วย การวิจัยมีขั้นตอนที่สำคัญพอสรุปได้ดังนี้

1. วัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงของผลึกเดี่ยว $CuInSe_2$ ที่ได้รับการเตรียมรอยต่อพี-เอ็นแล้ว ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 11 ถึง 300 เคลวิน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิ ซึ่งจะบ่งชี้ถึงโครงสร้างแถบพลังงานของ $CuInSe_2$ ได้

2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์จาก $CuInSe_2$ และสารในกลุ่มนี้ต่อไป

เพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะได้กล่าวถึงสารกึ่งตัวนำเบื้องต้น และส่วนที่เกี่ยวข้องกับสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ สมบัติเชิงแสงและสมบัติเชิงไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ สภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ การทดลองวัดสภาพนำไฟฟ้าเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ผลที่ได้ และการวิเคราะห์ผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย