บทที่ 1

บทนำ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ และส่วนหางของขอบการดูดกลืนแสงที่เรียกว่า "ส่วนหางของเออบาค" (Urbach tail) เป็นการวิจัยเชิงวิชาการเกี่ยวกับโครงสร้างแถบพลังงานของอิเล็กตรอนในผลึกสารกึ่งตัวนำในส่วนที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของผลึก และเป็นขั้นตอนที่หนึ่งของการวิจัยเพื่อพัฒนาสารกึ่งตัวนำซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ทางเทคโนโลยีต่อไป

โดยทั่วไปการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้กับขอบการดูดกลืนแสงพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสามารถแยกได้เป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการย้ายสถานะของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำ ทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์หาขนาดช่องว่างแถบพลังงานของอิเล็กตรอนได้ อีกส่วนหนึ่งเป็นส่วนหางของขอบการดูดกลืนหรือส่วนหางของเออบาค เป็นส่วนที่มีพลังงานต่ำกว่าขอบเขตการดูดกลืนแสงพื้นฐานเล็กน้อย ซึ่งเกิดขึ้นจากการย้ายสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังส่วนหางของแถบนำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงานตามอุณหภูมิสามารถทำได้สองวิธีด้วยกันคือ

1. หาความสัมพันธ์ของขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำกับอุณหภูมิโดยการประมาณเชิงคณิตศาสตร์ จากขนาดช่องว่างแถบพลังงานที่ทราบค่าในบางอุณหภูมิอาจจะอยู่ในลักษณะของสมการโพลิโนเมียล (polynomial), เอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential) หรือในลักษณะสมการอื่น ๆ การวิเคราะห์ในลักษณะเช่นนี้ไม่ได้สื่อความ

หมายใด ๆ ในทางฟิสิกส์เลย เพียงแต่สามารถประมาณขนาดช่องว่างแถบพลังงานที่อุณหภูมิต่าง ๆ ภายในขอบเขตของขนาดช่องว่างแถบพลังงานที่ทราบค่า

2. พิจารณาในแง่ของกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ วิธีนี้บางครั้งอาจจะมีความยุ่งยาก แต่จะทำให้เข้าใจถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และอาจจะเป็นแนวทางในการผลิตอุปกรณ์ชนิดใหม่ที่ยังไม่มีได้อีกด้วย ซึ่งกระบวนการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำตามอุณหภูมิก็คือ การขยายตัวของโครงสร้างผลึก และอันตรกริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับโฟนอน [1]

สำหรับการดูดกลืนแสงบริเวณส่วนหางของเออบาคจะเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์เชิงแสง เช่น เลเซอร์ไดโอด, ไดโอดเปล่งแสง มีประสิทธิภาพลดต่ำลง และเปล่งแสงที่มีความถี่ในช่วงกว้างออกมา ส่วนหางของแถบพลังงานยังเป็นสาเหตุของกระบวนการแทรปปิงซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้เกิดการรีคอมบิเนชัน (recombination) ในอุปกรณ์กึ่งตัวนำพวกอสัณฐาน และทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (open circuit voltage) ของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำ [2] ดังนั้นส่วนหางของแถบพลังงานจึงไม่เป็นที่ต้องการในการผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำเชิงแสงชนิดต่าง ๆ การศึกษาการเกิดส่วนหางของเออบาคจึงเป็นวิธีการโดยตรงที่จะศึกษา และเข้าใจสาเหตุของการเกิดส่วนหางของแถบพลังงานในสารกึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการลดความกว้างของส่วนหางของแถบพลังงานลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบันอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทต่าง ๆ มักผลิตขึ้นจากซิลิกอน (Si) หรือเยอร์มาเนียม (Ge) สารทั้งสองชนิดสามารถนำมาผลิตอุปกรณ์กึ่งตัวนำชนิดต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย และมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามสารทั้งสองชนิดนี้ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างบางประการ เช่น การนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ Si จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า 10 % ชนิดหนึ่ง แต่เนื่องจาก Si มีขนาดช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 1.12 eV ที่อุณหภูมิ 300 K [3] และโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบเฉียง ซึ่งทำให้ดูด

กลืนแสงได้ไม่มากเท่ากับสารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบแบบตรง ดังนั้นจึงได้มีความพยามยามที่จะหาสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่ขึ้นมาเสริม หรือแทนสารกึ่งตัวนำ Si และ Ge สารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซีลิไนด์ ($CuInSe_2$) ก็เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจในการนี้ เนื่องจากปัจจุบันสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ สามารถนำมาประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า 12 % [4] และยังมีขนาดช่องว่างแถบพลังงานที่เหมาะสมคือ 0.92 - 1.03 eV ที่อุณหภูมิ 300 K [5], มีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง ซึ่งเหมาะแก่การพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไปในภายหน้า นอกจากนั้นยังมีสภาพความต้านทานภายในต่ำทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อย แต่อย่างไรก็ตามสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ยังไม่ได้รับการศึกษาและพัฒนากันมากนัก จึงยังไม่สามารถที่จะนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่สามารถใช้งานจริงได้

ในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษากระบวนการที่เกิดขึ้นภายในผลึกเดี่ยวสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงานตามอุณหภูมิ และการเกิดส่วนหางของเออบาคโดยการวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ผลึกเดี่ยว $CuInSe_2$ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการเตรียมสารโดยวิธีไดเรกชันนัลฟรีซชิง (directional freezing) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type) โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. วัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของผลึกเดี่ยว $CuInSe_2$ ในช่วงความยาวคลื่น 10500 ถึง 13500 Å ตั้งแต่อุณหภูมิ 11 ถึง 300 K

2. วิเคราะห์หาขนาดช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ จากขอบการดูดกลืนแสงพื้นฐานที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3. วิเคราะห์ข้อมูลของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงในช่วงพลังงานต่ำกว่าขอบเขตการดูดกลืนเพื่อพิจารณาส่วนหางของเออบาค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. นำข้อมูลการวิเคราะห์ในข้อ 2 และ 3 มาเปรียบเทียบกับแบบจำลองเชิงทฤษฎีในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขยายตัวของโครงสร้างผลึก และอันตรกริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับโฟนอน

ในการวิจัยนี้จะทำให้เรารู้ถึงวิธีการวัดการดูดกลืนแสง วิธีการหาขนาดช่องว่างแถบพลังงาน ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการวิจัยสารกึ่งตัวนำในเชิงทัศนศาสตร์ และทำให้เข้าใจถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในผลึกเดี่ยวสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ในส่วนที่เกี่ยวกับส่วนหางของเออบาคทำให้เราเข้าใจกระบวนการที่รับผิดชอบต่อความกว้างและการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของส่วนหางนี้ ในแง่ของเทคโนโลยีทำให้เราสามารถผลิตสารกึ่งตัวนำที่มีสมบัติเป็นประโยชน์สำหรับการนำไปใช้งานได้ตามที่เราต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย