บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงในช่วงพลังงานใกล้เคียงกับขอบเขตการดูดกลืนแสงพื้นฐาน การวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือการศึกษาโครงสร้างแถบพลังงาน การเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงานตามอุณหภูมิ และส่วนที่สองคือการศึกษาส่วนหางของเออบาค สำหรับการศึกษาโครงสร้างแถบพลังงานและการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงาน พบว่าผลึกเดี่ยวของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์มีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงที่ทุกอุณหภูมิในช่วง 11 - 300 K และมีขนาดช่องว่างแถบพลังงานอยู่ระหว่าง 0.978 - 1.000 eV จากอุณหภูมิ 300 - 11 K สอดคล้องกับผลการทดลองของผู้อื่นที่ได้รายงานไว้ว่าขนาดช่องว่างแถบพลังงานของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.95 - 1.04 eV [24,25]

ในศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงานโดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองต่าง ๆ พบว่าแบบจำลองของมานูเกียนสามารถใช้ได้เป็นอย่างดีกับคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ โดยมีขนาดช่องว่างแถบพลังงานที่อุณหภูมิ 0 K = 1.000 eV $dE_g/dT = -1.12 \times 10^{-4}$ eV/K [6.] และมีค่า Θ = 365 K และจากการที่มานูเกียนได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของวาร์ชนีจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ $\Theta/T << 1$ [16] ซึ่งพบว่าแบบจำลองของวาร์ชนีไม่สามารถใช้ได้จริงเนื่องจาก Θ มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้ทำการทดลอง [24] และในการเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองบนรากฐานของแบบจำลองไอน์สไตน์ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบสองครั้ง ครั้งที่หนึ่งทำการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดในช่วงอุณหภูมิ 11 - 300 K และครั้งที่สองทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 11 - 225 K พบว่าในการเปรียบเทียบครั้งแรกแบบนี้สามารถใช้ได้พอสมควรกับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์แต่ไม่ดีนัก และในการเปรียบเทียบครั้งที่สองพบว่าแบบจำลองนี้ใช้ได้เป็นอย่างดี

จากการศึกษาส่วนหางของเออบาค พบว่าการดูดกลืนส่วนหางของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ แสดงพฤติกรรมเช่นเดียวกับส่วนหางของเออบาคทุกประการที่ทุกอุณหภูมิ จากการเปรียบเทียบความกว้างเอ็กซ์โปแนนเชียลของส่วนหางของเออบาคกับแบบจำลองของโคดีได้ทำการเปรียบเทียบสองครั้งด้วยกันเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงานกับแบบจำลองบนรากฐานของไอน์สไตน์คือเปรียบเทียบกับผลการทดลองในอุณหภูมิช่วง 11 - 300 K และ 11 - 225 K พบว่าแบบจำลองของโคดีใช้ได้เป็นอย่างดีกับผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 11 - 225 K และสามารถคำนวณค่า Θ ได้เท่ากับ 367 K แต่สำหรับการเปรียบเทียบผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 11 - 300 K แบบจำลองของโคดีสามารถใช้กับผลการทดลองแต่ไม่ค่อยดีนัก ในการเปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 11 - 225 K แสดงว่าการดูดกลืนแสงบริเวณนี้ในผลึกเดี่ยวคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์มีสาเหตุมาจากความไม่เป็นระเบียบเนื่องจากโฟนอนในโมดคลื่นแสงตามยาว เนื่องจากค่าของโฟนอนในโมดคลื่นแสงตามยาวของโฟนอนของคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ มีค่าเท่ากับ 306 K [24] สำหรับความไม่เป็นระเบียบเนื่องจากโครงสร้างซึ่งเป็นความไม่เป็นระเบียบที่ปรากฏในสารอสัณฐาน ไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเกิดส่วนหางของเออบาคในผลึกเดี่ยวคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์เลย ค่าความกว้างเอ็กซ์โปแนนเชียลที่อุณหภูมิ 0 K แสดงให้เห็นว่ายังมีความไม่เป็นระเบียบที่มีอิทธิพลต่อผลึกเดี่ยวคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์นี้ที่ยังไม่ได้พิจารณาอีกซึ่งอาจจะเป็นความไม่เป็นระเบียบเนื่องจากความหนาแน่นของสารเจือปน [2] ในช่วงอุณหภูมิ 225 - 300 K มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความกว้างเอ็กซ์โปแนนเชียลผิดไปจากอุณหภูมิอื่น ๆ คาดว่าอาจจะเป็นผลมาจากโฟนอนตัวอื่น

ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องว่างแถบพลังงานกับความกว้างเอ็กซ์โปแนนเชียลของส่วนหางของเออบาคพบว่าทั้งสองส่วนมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นในช่วงอุณหภูมิ 50 - 275 K และจากค่า Θ ที่คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทั้งสองตามอุณหภูมิมีค่าเหมือนกันแสดงให้เห็นว่าโฟนอนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการเปลี่ยนแปลงทั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สองเป็นโฟนอนแบบเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เราได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีกระบวนการดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์อินเดียมไดซีลีไนด์ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เราเข้าใจถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องว่างแถบพลังงานและการเกิดส่วนหางแถบพลังงาน แต่สำหรับสารกึ่งตัวนำปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งในการศึกษาคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำก็คือความหนาแน่นของสารเจือปน ซึ่งสมควรที่จะได้ทำการศึกษากระบวนการดูดกลืนที่ขึ้นกับความหนาแน่นของสารเจือปนนี้ต่อไป โดยเฉพาะในส่วนของการดูดกลืนแสงส่วนหางที่มีความค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างเอ็กซ์โปแนนเชียลของส่วนหางของเออบาค E_o จะเป็นตามสมการของโคดีได้เสมอไม่ว่าสารนั้นจะเป็นผลึก พหุผลึก หรืออสัณฐาน จากทฤษฎีความหนาแน่นของระดับพลังงานบริเวณส่วนหางของแถบพลังงานแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของระดับพลังงานแปรผันตามเทอม $\exp[(E - E_1)^n/E_o]$ โดยที่ n จะอยู่ในช่วง 1/2 - 2 ขึ้นกับความไม่เป็นระเบียบโดยผ่านทางค่าครอริเลชันเลนจ์ L ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสารเจือปนด้วย ดังนั้นค่าคอร์ริเลชันเลนจ์น่าจะเป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงลักษณะความไม่เป็นระเบียบได้มากกว่าความกว้างเอ็โปแนนเชียล สำหรับงานในส่วนนี้ทางด้านทฤษฎี กลายด์ (Glyde) ได้กำลังพัฒนาทฤษฎีที่แสดงถึงความเกี่ยวข้องระหว่างความหนาแน่นของสารเจือปนกับความหนาแน่นของระดับพลังงานบริเวณส่วนหางของแถบพลังงาน ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองเพื่อตรวจสอบทฤษฎีที่ได้พัฒนาขึ้น ดังนั้นจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะทำการศึกษากระบวนการดูดกลืนส่วนหางในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของสารเจือปนต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย