



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) จัดประเภทเป็นสารที่มีคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้ ที่อุณหภูมิห้องสภาพต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity) มีค่าอยู่ในช่วง $10^{-3} - 10^6 \Omega \text{cm}$ สภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ขึ้นกับอุณหภูมิดังนี้ ที่ 0°K จะประพฤติตัวเป็น ฉนวน (insulator) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสภาพนำไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นด้วย แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากๆ สภาพนำไฟฟ้าจะกลับลดลง และสภาพนำไฟฟ้าจะขึ้นกับพลังงานแสงด้วย นอกจากนี้ยังมีลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ เราสามารถโด๊ป (doped) ได้ กล่าวคือ เมื่อเติมสิ่งเจือปนเข้าไปจะทำให้สภาพนำไฟฟ้าเปลี่ยนไปได้ ถ้าพิจารณาแถบพลังงาน (energy band) จะพบว่าแถบห้าม (forbidden band) หรือที่นิยมเรียกว่า ช่องว่างแถบพลังงาน (band gap) แคบมากเมื่อเทียบกับฉนวน

สารกึ่งตัวนำที่เรารู้จักกันมาช้านานและได้รับการศึกษาจนถึงขั้นสามารถผลิตประยุกต์ใช้ เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำกันอย่างแพร่หลายขณะนี้ ได้แก่ ซิลิกอน (Si) เยอรมันเนียม (Ge) ทั้งสองตัวที่กล่าวนี้เป็นธาตุในกลุ่ม IV ของตารางธาตุมีอิเล็กตรอนวาเลนซ์ 4 อิเล็กตรอน พวกนี้จัดเป็น สารกึ่งตัวนำธาตุเดี่ยว (monoelements) ซึ่งผลึกกึ่งตัวนำมีลักษณะโครงสร้างพันธะเชิงสี่แบบไดอะมอนด์ (diamond lattice structure) ด้วยเหตุผลที่ว่าสารประกอบที่มีโครงสร้างคล้ายกับ โครงสร้างแบบไดอะมอนด์ของสารกึ่งตัวนำธาตุเดี่ยว อาจจะมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่คล้ายๆ กันได้ [1] จากความคิดดังกล่าวนี้ได้นำไปสู่การศึกษาสารประกอบธาตุคู่ (binary compounds) ของกลุ่ม III-V และ II-VI ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ก็จะมี 4 อิเล็กตรอนวาเลนซ์ต่ออะตอมเช่นกัน จากการศึกษพบว่าสารประกอบพวกนี้มีโครงสร้างแบบซิงค์เบลนด์ (Zincblende structure) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างแบบไดอะมอนด์ หรืออาจจะมีโครงสร้างแบบเวอร์ทไซต์ (wurtzite structure) ก็ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์ที่คล้ายคลึงกับสารกึ่งตัวนำธาตุเดี่ยว กล่าวคือ มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำนั่นเอง สารประกอบกึ่งตัวนำตัวแรกที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง คือ อินเดียมแอนติโมนด์ (InSb) และต่อมา ก็แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS)

เริ่มจากสารประกอบกึ่งตัวนำธาตุกลุ่ม III-V และ II-VI ถ้าเราขยายขนาดโมเลกุล ออกเป็น 2 เท่า แล้วแทนที่ธาตุกลุ่ม III ของ $(III-V)_2$ ด้วยธาตุในกลุ่ม II และ IV แทนที่ ธาตุในกลุ่ม II ของ $(II-VI)_2$ ด้วยธาตุในกลุ่ม I และ III จะได้สารประกอบกึ่งตัวนำที่ประ- กอบด้วยธาตุเดี่ยวสามชนิด (ternary compounds) 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม II-IV-V₂ และกลุ่ม I-III- VI₂ ตามลำดับ ซึ่งจะยังคงให้จำนวนอิเล็กตรอนวาเลนซ์ 4 อิเล็กตรอนต่อหนึ่งอะตอมเช่นกัน สำหรับ สารประกอบกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวสามชนิดที่ได้รับความสนใจนั้นจะเป็นพวกที่มีโครงสร้าง แบบซาลโคไพไรท์ (chalcopyrite structure) ตัวอย่างเช่น ZnGeAs₂ และ CuGaS₂

สารกึ่งตัวนำสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำอุปกรณ์ต่างๆ ได้เช่น ไดโอดกระจายแสงใต้แดง (infrared light emitting diode), เลเซอร์, เครื่องบันทึกแสงใต้แดง (infrared - detector), เซลล์แสงอาทิตย์ ฯลฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เรารู้จักและคุ้นหูอย่างดีก็คือเซลล์แสง- อาทิตย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เนื่อง จากวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานที่เกิดขึ้น จึงทำให้ทั่วโลกมุ่งเน้นศึกษาพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มี ประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อที่จะให้เป็นแหล่งผลิตพลังงานสำหรับใช้งานในอนาคตให้ได้อย่างจริงจัง

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นอาศัยการดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงโดยสารกึ่ง ตัวนำ กระบวนการดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำก็คือ การกระตุ้น อิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำ พร้อมกับมีอนุภาคโฮล (hole) เหลือทิ้งไว้ในแถบวาเลนซ์ อนุภาคทั้งคู่ที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นพาหะ (carrier) สำหรับนำกระแสไฟฟ้าต่อไป ถึงขั้นตอนนี้เรา อาจถือได้ว่าได้มีการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ การแยกอิเล็ก- ตรอนและโฮลออกจากกันก่อนที่อนุภาคทั้งคู่จะรวมกัน (recombination) สู้สภาวะเดิม การแยก อนุภาคทั้งคู่สามารถทำได้โดยการมีหัวต่อ (junction) แบบใดแบบหนึ่งในบริเวณใกล้เคียงกับบริเวณ ที่มีการดูดกลืนแสง สนามไฟฟ้าในบริเวณหัวต่อจะแยกอิเล็กตรอนและโฮลในทิศทางตรงกันข้าม ทำ ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรรภายนอกต่อไป ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ส่วนประกอบสองประการด้วยกัน

ประการแรก เกี่ยวกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำที่นำมาประดิษฐ์เป็นเซลล์แสง- อาทิตย์ คุณสมบัติที่ว่านี้ก็คือ จะต้องสามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้ดีเป็นประการแรก กล่าวคือ จะ ต้องมีลักษณะโครงสร้างและช่องว่างแถบพลังงาน (band structure and band gap) ที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ของโลเพอร์สกี [2]. สารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมสำหรับการประดิษฐ์เป็นเซลล์-

แสงอาทิตย์ จะต้องมีช่องว่างแถบพลังงานระหว่าง 1-2 eV และจะดีที่สุดที่ 1.5 eV ขณะเดียวกันลักษณะแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap) จะสามารถดูดกลืนแสงได้ดีกว่าแบบเฉียง (indirect band gap) นอกจากนี้พาหะที่เกิดขึ้นจะต้องอยู่ได้นานพอ (long life time) และเคลื่อนที่ได้ดี (high mobility)

ประการที่สอง ลักษณะการออกแบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำที่สามารถแยกพาหะทั้งคู่ออกจากกันได้ ดี ความต้านทานภายในต่ำ พร้อมกับสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าแก่วงจรภายนอกได้ดี

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันแพร่หลายอยู่ขณะนี้ ประดิษฐ์ขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการศึกษาข้อมูลต่างๆ มาช้านานแล้ว และมีข้อดี ข้อเสีย แตกต่างกันไป เช่น ซิลิกอนมีข้อได้เปรียบตรงที่ได้ รับการศึกษาวิจัยมาช้านานจนกระทั่ง เทคโนโลยีเกี่ยวกับธาตุนี้ได้พัฒนาจนเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การออกแบบให้เป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำแบบใดแบบหนึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่า ขณะเดียวกันก็มีข้อเสีย ตรงที่มีช่องว่างแถบพลังงาน 1.12 eV ซึ่งต่ำไปเล็กน้อยและลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบเฉียงทำให้ การดูดกลืนแสงด้อยลง แกลเลียมอาร์เซไนด์มีช่องว่างแถบพลังงาน 1.43 eV ลักษณะแถบ พลังงานเป็นแบบตรง ทำให้สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ดีกว่าแต่ราคาสูงกว่าซิลิกอนมาก แคด- เมียมซัลไฟด์มีช่องว่างแถบพลังงาน 2.42 eV ลักษณะแถบพลังงานเป็นแบบตรง การดูดกลืนแสง ด้อยกว่าทั้งสองชนิดที่กล่าว สรุปลงได้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่ขณะนี้ยังไม่เป็นที่ น่าพอใจ บางชนิดยังมีราคาแพงอยู่มากไม่คุ้มกับการลงทุน ดังนั้นจึงทำให้มีการศึกษาและวิจัยเพื่อ ที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ดียิ่งขึ้น แนวทางการศึกษามีทั้งการวิจัยเพื่อหาสารกึ่ง ตัวนำตัวอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติที่เหนือกว่า สารกึ่งตัวนำพวกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและประสบความสำเร็จ ได้แก่ สารประกอบในกลุ่ม ชาลโคไพไรท์ (chalcopyrite compounds) โดยเฉพาะกลุ่มที่มีสูตร เคมี I-III-VI₂ อีกแนวทางหนึ่งก็คือ การพัฒนารูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพ สูงขึ้น รูปแบบที่เป็นไปได้แบบหนึ่งก็คือ การนำสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งประกบกับสารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่ง วิธีการนี้ต้องเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะและขนาดของช่องว่างแถบพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการ ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมกันนั้นจะต้องมีขนาดของโครงผลึก (crystal lattices) เหมาะสมกับสารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่งที่จะใช้ เป็นข้อต่อร่วมกัน เงื่อนไขสำหรับอุปกรณ์กึ่งตัวนำรูปแบบนี้จึงต้อง การสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่มีขนาดของโครงผลึกที่เหมาะสมกัน แต่ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานที่ ต่างกัน ชนิดของสภาพนำไฟฟ้า (conductivity type) ที่ต่างกัน หรืออาจเหมือนกัน [3, 4] ตัวอย่าง เซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ได้จากการนำคิวปรัสซัลไฟด์ (Cu₂S) ประกบกับแคดเมียมซัลไฟด์ [5] แต่ประสิทธิภาพยังต่ำอยู่ (9 %) เนื่องจากสารกึ่งตัวนำทั้งคู่ยังไม่เหมาะสมกันทุกเงื่อนไขที่ต้องการ

จึงจำเป็นต้องมองหาสารกึ่งตัวนำที่มีความพอเหมาะกันให้มากที่สุด

ความสำคัญของปัญหาที่วิจัย

จากความต้องการสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะตามเงื่อนไขดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีสารกึ่งตัวนำหลายๆ ชนิดที่ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้าง และลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน ตลอดจนขนาดของช่องว่างแถบพลังงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกหาสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสม การขยายอาณาจักรของสารกึ่งตัวนำให้กว้างขวางออกไปนั้น สามารถทำได้โดยการพิจารณาศึกษาโลหะผสมระหว่างสารประกอบกึ่งตัวนำในกลุ่มเดียวกัน [3] ซึ่งก็จะมียังคงมีโครงสร้างแบบซาลโคไฟไรท์อยู่ เมื่อทำการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนผสมไป จะทำให้ขนาดของช่องว่างแถบพลังงานและขนาดของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้ได้สารกึ่งตัวนำมากมายที่มีขนาดช่องว่างแถบพลังงานและโครงสร้างค่าต่างๆ ที่ต่อเนื่อง ซึ่งจะมีประโยชน์ในการเลือกใช้ประยุกต์สร้างอุปกรณ์กึ่งตัวนำต่างๆ ได้อย่างดี

การศึกษาโลหะผสมของสารประกอบกึ่งตัวนำนั้นได้มีการศึกษากันมาช้านานแล้ว โดยเริ่มตั้งแต่กลางปี ค.ศ.1950 ได้มีการศึกษาโลหะผสมของสารประกอบกลุ่ม III-V ชนิดของโลหะผสมที่ศึกษาเป็นโลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวสามชนิด (III-V ternary alloys) ซึ่งมีสูตรเคมี $D_{(1-x)}^{III} E_x^V F_x^V$ หรือ $D_{(1-x)}^{III} E_x^{III} F_x^V$ [6, 7] ต่อมาก็ได้มีการศึกษาโลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวสี่ชนิด (III-V quaternary alloys) ซึ่งมีสูตรเคมี $D_{(1-y)}^{III} E_y^{III} F_{(1-x)}^V G_x^V$ ทำนองเดียวกันโลหะผสมของสารประกอบกลุ่ม II-VI ก็ได้รับการศึกษาเช่นเดียวกัน โลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวห้าชนิด (pentenary chalcopyrite alloys) ที่ได้รับความสนใจศึกษานั้นเป็นโลหะผสมของสารประกอบที่ประกอบด้วยธาตุเดี่ยวสามชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งของกลุ่ม I-III-VI₂ ตัวอย่างของโลหะผสมที่เคยได้รับการศึกษามาแล้ว เช่น $Cu_{(1-y)} Ag_y In S_{2(1-x)} Se_{2x}$ จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะเลือกหาสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปประกอบกับแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีอยู่แล้ว

สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ เราเลือกศึกษาโลหะผสมของสารประกอบกึ่งตัวนำซาลโคไฟไรท์ที่มีสูตรเคมี $Ag Ga_y In_{(1-y)} Te_{2(1-z)} Se_{2z}$ เมื่อกำหนดให้ y มีค่าคงที่ $y = 0.8$, เนื่องจากโลหะผสมกลุ่มนี้ยังคงได้รับความสนใจศึกษาน้อยมาก

แนวเหตุผลทฤษฎี

สารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่ม I-III-VI₂ จะมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง [8] ดังนั้นจึงทำให้โลหะผสมของสารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่มนี้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางโครงสร้างอย่างใกล้ชิดกับสารประกอบกึ่งตัวนำตัวต้นแบบมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงด้วย โลหะผสมกึ่งตัวนำซาลโคไฟไรท์ $\text{Ag Ga}_{0.8} \text{In}_{0.2} \text{Te}_{2(1-Z)} \text{Se}_{2Z}$ ซึ่งมีต้นแบบมาจากสารกลุ่ม I-III-VI₂ ก็จะมีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงเช่นกัน

สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงจะเป็นสารที่เราต้องการมาก เพราะว่าจะมีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ดี โลหะผสมกึ่งตัวนำซาลโคไฟไรท์ $\text{Ag Ga}_{0.8} \text{In}_{0.2} \text{Te}_{2(1-Z)} \text{Se}_{2Z}$ นอกจากจะมีโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรงแล้ว ยังพบว่าค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกและช่องว่างแถบพลังงานจะแปรเปลี่ยนอย่างสมการกำลังสอง (parabolic variation) กับค่า Z ที่เปลี่ยนไป [9, 10] และมีแนวโน้มว่าเราสามารถที่จะเตรียมสารตัวอย่างเพื่อการศึกษาครั้งนี้ได้ทุกสัดส่วนของโลหะผสม [11, 12] กล่าวคือ เราสามารถเตรียมโลหะผสมขึ้นมาได้ทุกค่าของ Z ที่อยู่ในช่วงจาก 0 ถึง 1 ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะทำให้ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลของค่าคงที่โครงสร้างผลึก และช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำอีกหลายชนิด ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการเลือกหาสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

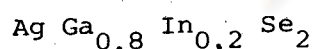
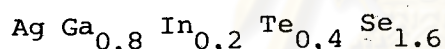
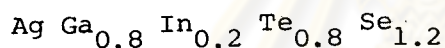
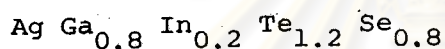
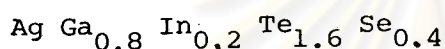
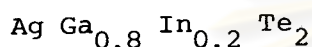
ในการศึกษาวิจัยโลหะผสมของสารประกอบกึ่งตัวนำซาลโคไฟไรท์ $\text{Ag Ga}_{0.8} \text{In}_{0.2} \text{Te}_{2(1-Z)} \text{Se}_{2Z}$ เราจะศึกษาคุณสมบัติทางโครงสร้างของโลหะผสมกึ่งตัวนำกลุ่มนี้ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบเทตระโกนอล (tetragonal) $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ โดยจะทำการวัดหาค่า a และ c ซึ่งเป็นค่าคงที่ของโครงสร้างผลึกของโลหะผสมกึ่งตัวนำที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ และจะศึกษาคุณสมบัติทางทัศนศาสตร์โดยทำการวัดหาขนาดช่องว่างแถบพลังงานด้วยเทคนิควิธีการดูดกลืนแสง

ปัญหาที่มักพบอยู่เสมอในการเตรียมสารตัวอย่างขึ้นมาศึกษา คือ เรื่องเวลาที่ใช้ในการเตรียม เพื่อให้ได้สารที่ต้องการ ปรากฏว่าต้องใช้เวลาหลายเดือนบางอัตราส่วนผสมต้องใช้เวลา นานมากจึงจะได้สารที่ต้องการ และอีกปัญหาหนึ่งก็คือ สารตัวอย่างที่เตรียมได้ซึ่งอยู่ในรูปผลึกพหุพันธ์ (polycrystalline) มักจะเปราะและแตกละเอียดได้ง่าย ทำให้การศึกษาคูสมบัติทางทัศนศาสตร์

ซึ่งต้องนำสารที่เตรียมได้มาตัดเป็นแผ่นบางๆ เพื่อศึกษาการดูดกลืนแสงทำได้อำบากเพราะจะแตก
ละเอียดเสียก่อน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะศึกษาหาเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมสารด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมโลหะผสมของสารประกอบกึ่งตัวนำซาลโคไฟไรท์ $\text{Ag Ga}_{0.8} \text{In}_{0.2} \text{Te}_{2(1-Z)} \text{Se}_{2Z}$ จากธาตุเดี่ยวบริสุทธิ์ของ Ag, Ga, In, Te และ Se โดยนำธาตุเหล่านี้
มาหลอมรวมกันเป็นโลหะผสม กำหนดให้ Z มีค่า 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ
1.00 ก็จะได้โลหะผสมกึ่งตัวนำ 6 ชนิด คือ



2. วัดค่าคงที่ของโครงผลึก (a, c) ของโลหะผสมกึ่งตัวนำทั้ง 6 ชนิด ด้วยวิธีการ
เลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

3. นำโลหะผสมกึ่งตัวนำที่ศึกษารวัดค่าคงที่ของโครงผลึกแล้วนี้ ไปทำการวัดหาขนาด
ช่องว่างแถบพลังงาน ด้วยเทคนิควิธีการดูดกลืนแสง

4. นำข้อมูลในข้อ 2 และข้อ 3 มาสรุปเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาอุปกรณ์กึ่งตัวนำ
ต่างๆ และในการวิจัยประยุกต์ด้านอื่นๆ ต่อไป

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากการศึกษาโลหะผสมกึ่งตัวนำ ทำให้ทราบเทคนิคในการเตรียมสาร วิธีหาค่าคงที่
ของโครงผลึก และช่องว่างแถบพลังงาน นอกจากนี้ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อ
มูลในการคัดเลือกสารมาสร้างอุปกรณ์กึ่งตัวนำ ตลอดจนยังเป็นการศึกษาทางวิชาการเพื่อพัฒนาทาง
ด้านทฤษฎีอีกด้วย และยังเป็นแนวทางในการวิจัยขั้นสูงต่อไป