

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปการดำเนินงานของโครงการวิจัยตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  โดยมีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม  $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  และ  $1.0$  ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ  $\text{CdS}$  และ  $\text{CdTe}$  ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.999 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีที่ไม่มีแก๊สและมีการแก๊สที่อุณหภูมิ  $100 - 500$  องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงเป็นการศึกษาสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางที่เตรียมได้ดังกล่าว พร้อมด้วยข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

#### 5.1 สรุปผลการเคลือบฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ เมื่อ $(0 \leq x \leq 1.0)$ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศทั้งในกรณีที่ไม่มีแก๊ส และ มีการแก๊ส ที่อุณหภูมิ $100 - 500$ องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที

ในโครงการ วิจัยนี้เป็นการเตรียม และการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  โดยมีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม  $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  และ  $1.0$  ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ  $\text{CdS}$  และ  $\text{CdTe}$  ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.999 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีที่ไม่มีแก๊สและมีการแก๊สที่อุณหภูมิ  $100 - 500$  องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งทำโดยการคำนวณอัตราส่วนผสมของสารแล้วนำไปอบด้วยความร้อน  $100$  องศาเซลเซียส เพื่อให้สารตั้งต้นมีความชื้นน้อยที่สุดในการนำไประเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ผลที่ได้คือฟิล์มบางที่เตรียมได้ ยึดติดกับแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ได้ดี มีความเรียบสม่ำเสมอ มีสีดำเข้มไม่โปร่งแสงและจะมีสีอ่อนจางลงเมื่อสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของธาตุ  $\text{S}$  มีค่าเพิ่มขึ้น (ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}$  จะมีสีเหลืองส้ม) แล้วนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เตรียมได้ไปแก๊สที่อุณหภูมิ  $100, 200, 300, 400$  และ  $500$  องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ผลที่ได้จากการแก๊สคือฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำจะมีสีเข้มขึ้น เมื่อแก๊สที่อุณหภูมิสูงขึ้น

**5.2 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนัล และ มีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที**

จากการศึกษาลักษณะของ โครงสร้าง ผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธี การเลี้ยวเบน ของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  โดยมีค่าสัดส่วนผสมของโมลอะตอม  $(x) = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$  และ  $1.0$  ตามลำดับ ลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ที่เตรียมได้ ซึ่งเตรียมโดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ จากสารตั้งต้นที่เป็นผงผลึกของสารประกอบ  $\text{CdS}$  และ  $\text{CdTe}$  ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.999 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกรณีที่ไม่มีการแอนนัลและมีการแอนนัลที่อุณหภูมิ 100 - 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เป็นเวลา 30 นาที ที่เตรียมได้ ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่าฟิล์มบาง ของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเวิร์ทไซด์จะสอดคล้องกับระนาบ (002) และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกจะสอดคล้องกับระนาบ (111) ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการเตรียมและยังพบว่าโครงสร้างผลึกนี้จะเปลี่ยนจากคิวบิกเป็นเวิร์ทไซด์ที่  $x = 0.2$  เป็นไปตามผลการทดลองที่ได้มีการรายงานไว้ [40-41] ดังรูปที่ 2.41 ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ จะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกที่  $x \leq 0.2$  และจะเป็นแบบเวิร์ทไซด์เมื่อ  $x \geq 0.25$  สำหรับ โครงสร้างผลึกเป็นแบบคิวบิกที่ พบว่าค่าคงที่โครงสร้างผลึกมีแนวโน้มลดลงแบบเชิงเส้นเป็นไปตามสมการ  $a(\text{zincblende}) = 6.477 - 0.657 x$  [11] นอกจากนี้ยังพบว่ามุมของการเลี้ยวเบนจะเลื่อนไปทางมุม  $2\theta$  ที่มีค่ามากขึ้นตามค่าความเข้มข้นของผลึก ของสารประกอบ  $\text{CdS}$  ที่เพิ่มขึ้น ขนาดของเกรนที่คำนวณได้นั้นมีค่าลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นของผลึกของสารประกอบ  $\text{CdS}$  เพิ่มขึ้นซึ่งตรงกับภาพที่ได้จากภาพถ่าย SEM ค่าคงที่โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ สามารถคำนวณได้ทั้ง 2 กรณี คือค่าคงที่โครงสร้างผลึกมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของค่าความเข้มข้นของผลึกของสารประกอบ  $\text{CdS}$  เพิ่มขึ้น ในกรณีแอนนัลพิคจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแอนนัลเพิ่มขึ้น [48]

สำหรับการศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ภาพที่ถ่ายจะเห็นได้นั้นต้องนำฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$

ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ไปเคลือบด้วยทองคำก่อน จากภาพถ่ายแสดงให้เห็นว่า ถ้าสัดส่วนผสมโมลอะตอมของธาตุ S มีค่าเพิ่มขึ้นขนาดเกรนของฟิล์มบางจะมีขนาดใหญ่ขึ้น

จากการวิเคราะห์ ค่าเปอร์เซ็นต์ การส่งผ่านแสง ของฟิล์มบาง พบว่าฟิล์มบาง ของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ที่เตรียมได้ทั้งกรณีที่ไม่มีการแอนนัลและกรณีที่มีการแอนนัลจะมีลักษณะโครงสร้างแถบพลังงานเป็นแบบตรง ค่าช่องว่างแถบพลังงานของฟิล์มของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ ที่เตรียมได้ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นผงผลึกของสารประกอบ CdS และ CdTe ที่มีความบริสุทธิ์สูง 99.999 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 1.43– 2.41 อิเล็กตรอนโวลต์ สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์โบว์ริง (bowing parameter) ได้ประมาณ 1.84 อิเล็กตรอนโวลต์ [40, 41, 49] สรุปได้ว่าค่าช่องว่างแถบพลังงาน ( $E_g$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของธาตุ S มีค่าเพิ่มขึ้น [48]

จากการวัดค่าความต้านทานแผ่นของฟิล์มบาง ของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ทั้งกรณีที่ไม่ มีการแอนนัลและกรณีที่มีการแอนนัล พบว่าค่าความต้านทานแผ่นเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดฮาโลเจนชนิด ELH จะมีค่าลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้มีการรายงานไว้ [23, 29, 30, 31]

จากการวัดค่าพลังงานกระตุ้นของฟิล์ม บางของสารกึ่งตัวนำ  $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$  เมื่อ  $(0 \leq x \leq 1.0)$  ที่เคลือบลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ทั้งกรณีที่ไม่ มีการแอนนัลและกรณีที่มีการแอนนัล พบว่าค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) มีค่าเดียวและสามารถอธิบายถึงกำแพงศักย์ที่บริเวณขอบของเกรนได้ว่า เมื่อเกรนเล็กลงค่าของกำแพงศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้า แต่เมื่อค่าพลังงานกระตุ้น ( $E_a$ ) มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนผสมของโมลอะตอมของธาตุ S เพิ่มขึ้น เกิดจากการที่มีระดับพลังงานย่อยตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเกรน ซึ่งเป็นผลจากการที่อิเล็กตรอนถูกจับไว้โดยกับดักประจุซึ่งระดับพลังงานย่อยนี้มีอยู่สองระดับ ดังนั้นเมื่อเราให้พลังงานความร้อนแก่ฟิล์มบาง อิเล็กตรอนสามารถกลับขึ้นมาเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้

### 5.3 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

#### 1. การเตรียมฟิล์มบาง

- กระจกสไลด์ที่ใช้มีขนาดไม่เท่ากันเมื่อนำไปใส่ในหน้ากาก เพื่อใช้เตรียมสาร สารที่เตรียมได้จึงมีลักษณะบิดเบี้ยวไปบ้าง
- การระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ การนำสารตั้งต้นที่บดแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสก่อน เพื่อไม่ให้สารตั้งต้นจับเป็นก้อนและง่ายต่อการระเหยสาร

- การทำงานในแบบสุญญากาศควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกต่างๆ จากผู้ทดลอง ผู้ระบบสุญญากาศได้
- ก่อนทำการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ควรตรวจสอบความสะอาดของเครื่องมือ และ เช็กสภาพเครื่องก่อนทุกครั้ง
- ก่อนทำการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ควรศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือก่อนทุกครั้ง

## 2. การแอนนัลในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

- ก่อนทำแอนนัลควรตรวจสอบปริมาณของก๊าซไนโตรเจนและเครื่องมือให้พร้อมก่อนทำการแอนนัล
- ก่อนทำแอนนัลควรศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือและลำดับขั้นตอนก่อนทำการแอนนัล
- ในขณะที่แอนนัล ต้องคอยควบคุมปริมาณฟองอากาศให้คงที่สม่ำเสมอไม่เร็วจนเกินไป
- เมื่อทำการแอนนัลเสร็จแล้วควรปิดเครื่องมือตามลำดับขั้นตอน และปิดก๊าซไนโตรเจนให้เรียบร้อยทุกครั้ง

## 3. การวัดสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ

- การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) นั้น ถ้าไม่เห็นเกรน ให้นำฟิล์มบางไปเคลือบด้วยทองก่อน แล้วนำกลับมาถ่ายภาพอีกครั้ง
- การวัดความต้านทานแผ่นนั้น กระแสที่ไหลผ่านวงจรควรอยู่ในระดับต่ำกว่า  $10^{-6}$  แอมแปร์ เนื่องจากปัญหารอยต่อโอห์มมิก ระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารกึ่งตัวนำจะมีค่าที่ลดลง
- การวัดความต้านทานแผ่นเมื่อฉายแสงควรรีบทำการทดลอง คือ รีบเปิดและปิดทันทีเพื่อป้องกันหลอดไฟขาด
- การทำการทดลองวัดสมบัติทางแสงหรือทางไฟฟ้าควรทำให้เร็วที่สุดหลังจากเตรียมฟิล์มบางได้ เพื่อลดผลกระทบจากข้อบกพร่องผลึกที่ปรากฏบนผิวหน้า