บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ

พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานที่มีมากมายมหาศาล กึ่งไม่หมด และยังเป็นพลังงานสะอาด ปัจจุบัน การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าใช้จ่ายที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาสูง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางสามารถปลูกลงบนแผ่นฐานรองที่มีราคาถูก เช่น แผ่นกระจก หรือแผ่นพลาสติกได้ ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ซิลิกอนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ในบรรดาวิธีการเตรียมฟิล์มบางนั้น วิธีสเปรย์เป็นวิธีหนึ่งที่ไม่ยุ่งยาก มีค่าใช้จ่ายด้านเครื่องจักรและใช้พลังงานในการผลิตที่ต่ำ และที่สำคัญเป็นวิธีที่สามารถผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่สำหรับเชิงพาณิชย์ได้

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา วิจัยและพัฒนาวิธีการปลูกฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ ($CuInS_2$; CIS) โดยใช้เทคนิคเคลือบสเปรย์ที่ไม่ใช้ระบบสุญญากาศ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

4.1 สรุปผลการวิจัย

ฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ ($CuInS_2$; CIS) ถูกปลูกขึ้นด้วยวิธีเคลือบสเปรย์โดยใช้ระบบพ่นสเปรย์ที่สร้างขึ้นเอง สารละลายตั้งต้นถูกพ่นลงบนฐานรองกระจกเป็นจังหวะคาบโดยใช้ไมโครฯควบคุม สารละลายตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ ($CuCl_2$), ไทโอยูเรีย ($SC(NH_2)_2$) และ อินเดียมคลอไรด์ ($InCl_2/InCl_3$) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของทองแดง, ซัลเฟอร์และอินเดียม ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ระยะเวลาในการพ่น/หยุดพ่น, สัดส่วนและชนิดของสารตั้งต้น, อุณหภูมิฐานรองขณะเคลือบสเปรย์ ที่มีต่อคุณภาพของฟิล์ม โดยวิเคราะห์พื้นผิวด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM), วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิกการกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ (Encrgy Dispersive X-ray Analyzer; EDX), วัดค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance) เพื่อคำนวณช่องว่างพลังงานทางแสง (Optical energy-band gap) และวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) พบว่า $In(III)Cl_3$ เหมาะที่จะเป็นสารตั้งต้นมากกว่า $In(II)Cl_2$ ทั้งในด้านของกรรมวิธีในการเตรียมและผลของฟิล์มที่ได้ อุณหภูมิบนแผ่นฐานรองที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 250 ถึง 300°C, อัตราส่วนของสารตั้งต้น Cu:In:S คือ 1:1:3~1:1:5 โดยระยะเวลาหน่วงหยุดพ่น (P) ต้องมากกว่า 16 วินาที และใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สนำพา ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม ฟิล์มที่ได้แสดงตัวเป็นผลึกเฟสเดี่ยวของ $CuInS_2$ (CIS) แบบหลายผลึก (polycrystalline) มีโครงสร้างแบบ Sphalerite (zinc-blend) การจัดเรียงตัวของระนาบเป็นแบบ Random ขนาดของผลึกค่อนข้างเล็กเรียงตัวอย่างหนาแน่นและมีผิวหน้าค่อนข้างจะขรุขระ สัดส่วนของอินเดียมต่อทองแดง (In/Cu) และ ซัลเฟอร์ต่อโลหะ (S/(Cu+In)) ของฟิล์มอยู่ที่ 0.7~1.1 และ 0.7~0.8 ตามลำดับ โดยมีธาตุคลอรีน (Cl) < 2.5 Atomic % และธาตุออกซิเจน (O) 10 ~ 20 Atomic % ปนอยู่ในเนื้อฟิล์ม ค่าประมาณของช่องว่างพลังงานทางแสงอยู่ในช่วง 1.4 ~ 1.6 eV

ผลจากการประเมินลักษณะเฉพาะระหว่างกระแสกับความต่างศักดิ์ไฟฟ้า (I-V) พบว่า การนำไฟฟ้าผ่านรอยต่อ CIS/FTO (SnO_2:F) เป็นแบบโฮห์มิก (Ohmic) ในขณะที่การนำไฟฟ้าผ่านรอยต่อ CIS/TiO_2 เป็นแบบรอยต่อ

PN โดยฟิล์มบาง $CuInS_2$ ที่เตรียมได้ถูกใช้เป็นชั้นดูดซับแสงร่วมกับชั้นหน้าต่างรับแสง TiO_2 ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีสกรีนในเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง CIS/TiO_2/FTO/Glass แบบ Superstrate พบว่า เซลล์มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 5.4×10^{-6} % มีค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Voc) 158 mV, ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Jsc) 1.11×10^{-4} mA/cm^2, ฟิลแฟคเตอร์ (FF) 0.31 บนพื้นที่ ~0.25 cm^2 ภายใต้การฉายแสง AM 1.5 มาตรฐานที่อุณหภูมิห้อง

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถสร้างเซลล์แสงอาทิตย์บนฐานรองกระจกราคาถูกด้วยวิธีการเตรียมฟิล์มที่ไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศได้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเซลล์ที่ได้ยังต่ำ จึงมีความจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาต่อ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำสำหรับเชิงพาณิชย์ต่อไป

4.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง $CuInS_2$ โดยเทคนิคเคลือบสเปรย์ในเบื้องต้น ยังคงให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่ต่ำ จึงควรมีการศึกษาตัวแปรอื่นๆต่อไปนี้เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง CIS ให้สูงขึ้น

1. เพิ่มขนาดของผลึก CIS ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยการบำบัดภายหลังการปลูกด้วยความร้อนภายใต้บรรยากาศของซัลเฟอร์ เนื่องจากผลึก CIS ที่ได้จากวิธีการเคลือบสเปรย์ยังมีขนาดเล็ก
2. ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของชั้นดูดซับแสงและชั้นหน้าต่างรับแสงให้เหมาะสม เช่น ความหนาของชั้นฟิล์มแต่ละชั้น, เพิ่มชั้นบัฟเฟอร์ระหว่างชั้น CIS และชั้น TiO_2, การบำบัดผิวหน้าฟิล์มก่อนสร้างรอยต่อ เป็นต้น
3. หาโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบใหม่ๆ เพื่อให้ได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงสุด