บทที่ 1 บทนำ (Introduction)

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยของเราต้องสั่งนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศปีละมหาศาล ทั้งนี้เนื่องจากเราไม่มีแหล่งพลังงานเป็นของตนเองเพียงพอ และความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการพัฒนาประเทศก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ในสถานะที่ประเทศไทยต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ ดังนั้น ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security) จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อนโยบายเศรษฐกิจของประเทศ [1] การเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงและวิกฤตการณ์ราคาน้ำมัน เป็นบทเรียนที่สำคัญสำหรับประเทศไทย ที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงานของประเทศให้เป็นไปอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น แม้ว่ารัฐบาลจะได้ทำการสำรวจและพัฒนาแหล่งพลังงานในประเทศมาใช้ประโยชน์มากขึ้นกว่าในอดีต แต่เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งสำรองพลังงานไม่มากนัก จึงยังต้องพึ่งพาพลังงานจากภานนอกประเทศ ปัจจุบันประเทศส่วนใหญ่ซึ่งรวมถึงประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากวิกฤตการณ์น้ำมันและวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ราคาก๊าซธรรมชาติก็ยังคงต้องอิงกับราคาเชื้อเพลิง ทำให้ขาดเสถียรภาพทางด้านราคา ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณที่จำกัด ทำให้มีการคาดการณ์กันว่าอาจจะมีโอกาสหมดไปจากโลกในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ดังนั้นนโยบายด้านพลังงานทดแทน (Renewable energy) ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานได้ จึงเป็นอีกหนึ่งนโยบายที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงานของประเทศให้เป็นไปอย่างยั่งยืน

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสนใจในงานค้นคว้าวิจัยและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีมากมายมหาศาล กึ่งไม่หมด และยังเป็นพลังงานสะอาด พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในรูปของแสงแดดสามารถเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า *เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์ (Solar cells) หรือ โฟโตโวลตาอิคส์ (Photovoltaics)* เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเรามีค่ามหาศาล บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร เราจะได้พลังงานประมาณ 1,000 วัตต์ ดังนั้นถ้าเราใช้พื้นที่ประมาณร้อยละ 0.3 ของประเทศไทย เราก็จะสามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการทั้งประเทศ [2] อย่างไรก็ตามแม้ว่าเราจะสามารถผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นได้เองภายในประเทศแล้วก็ตาม แต่ปริมาณที่ผลิตได้ก็ยังน้อยมากๆเมื่อเทียบกับความต้องการภายในประเทศ อีกทั้งยังมีราคาแพง เพราะเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นเทคโนโลยีที่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ และเป็นเทคโนโลยี่ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีข้อจำกัดทั้งในเรื่องของกำลังในการผลิตและราคาต้นทุน

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

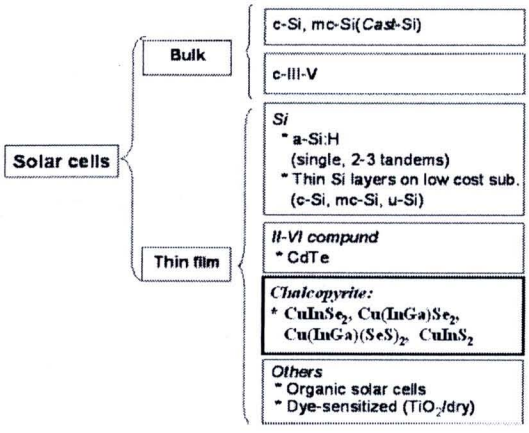
มุ่งศึกษา วิจัยและพัฒนาวิธีการปลูกฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ ($CuInS_2$; CIS) โดยใช้เทคนิคเคลือบสเปรย์ที่ไม่ใช้ระบบสุญญากาศ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

1.3 ทฤษฎีและและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

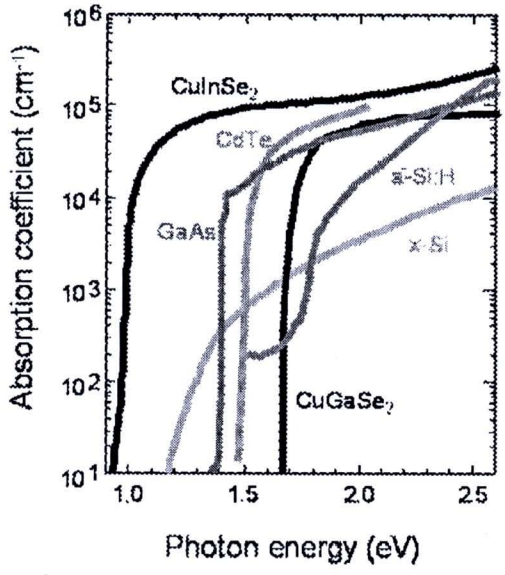
โดยทั่วไป เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ 1) ชนิดบัลค์ (Bulk) และ 2) ชนิดฟิล์มบาง (Thin-film) ดังแสดงในรูปที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ส่วนใหญ่ทำมาจากซิลิคอน (Si) แผ่นซิลิคอนที่ใช้ดูดซับแสงอาทิตย์นั้นได้จากการสไลด์แท่งผลึกซิลิคอนบัลค์ให้เป็นแผ่นบางๆ โดยจะต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า 300 μm เพื่อให้สามารถดูดซับแสงอาทิตย์ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากซิลิคอนมีสัมประสิทธิ์การดูดซับแสงที่ต่ำ ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (Conversion efficiency) ที่สูงก็ตาม แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เครื่องจักรและวัสดุที่มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์สูงตาม ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางเช่น amorphous Si (a-Si), CdTe หรือ $CuInX_2$ (โดยที่ X=Se, Te, S) นั้นมีความหนาของฟิล์มที่ใช้เพียงแค่ 1-10 μm เท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางยังสามารถปลูกผลึกบนแผ่นฐานรองที่มีราคาถูก เช่น แผ่นกระจก แผ่นพลาสติกหรือแผ่นโพลิเมอร์ ได้อีกด้วย ซึ่งเหตุผลดังกล่าวทำให้ต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางนั้นต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ นอกจากนี้แล้ว เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง ยังมี EPT (Energy payback time) ที่น้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดบัลค์ [3] อีกด้วย

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางมีอยู่หลายชนิด (รูปที่ 1) เซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบางที่สร้างจากสารประกอบที่อยู่ในกลุ่ม I-III-VI_2, ชนิด $CuInX_2$ (โดยที่ X = Se, Te, S) ก็เป็นฟิล์มบางตัวหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยทั่วโลก [3, 4-5] ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มบางดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Absorption coefficient) สูงมากๆ ประมาณ ~10^5 cm^{-1} (รูปที่ 2) เมื่อเทียบกับของซิลิคอนที่อยู่ที่ประมาณ ~10^3 cm^{-1} ดังนั้นฟิล์มบาง $CuInX_2$ ที่มีความหนาเพียง 1~2 μm ก็สามารถดูดซับโฟตอนได้ถึง 90% ยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $CuInX_2$ ยังไม่เสื่อมถอยเมื่อถูกใช้ไปเป็นเวลานานๆ ดังเช่นที่เกิดกับ a-Si [6] และยังเสถียรแม้จะอยู่ในสภาวะของรังสีหรือโฟตอนพลังงานสูงในอวกาศ อีกด้วย

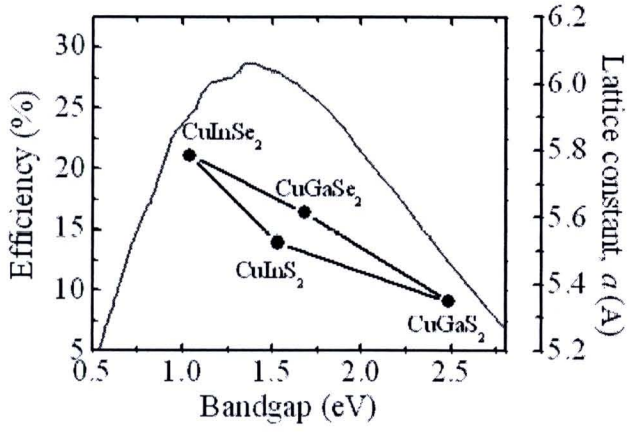
สารประกอบหลายผลึก (Polycrystalline) คอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ (Copper indium disulfide; $CuInS_2$; CIS) นอกจากจะมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับแสงที่สูงแล้ว ยังเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดแถบพลังงานแบบตรง (Direct band-gap) ที่มีค่าช่องว่างพลังงาน (Energy band-gap; E_g) อยู่ที่ประมาณ 1.5 eV [7] ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประยุกใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ [8] แต่ก็ยังสามารถปรับเพิ่มหรือลดค่าช่องว่างพลังงานได้โดยการเติมแกลเลียมหรือเซเลเนียม ได้อีกด้วย (รูปที่ 3) ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากฟิล์ม $CuInS_2$ ด้วยเทคนิคการระเหยสารภายใต้สุญญากาศมีประสิทธิภาพสูงสุดถึง ~12% [9-10] ซึ่งสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ฟิล์มบาง $Cu(In,Ga)Se_2$ ก็แสดงประสิทธิภาพที่สูงถึง ~19% (ค่าช่องว่างพลังงาน: ~1.2 eV) [11] อย่างไรก็ตาม ค่าช่องว่างพลังงาน 1.5 eV ของ $CuInS_2$ ก็เป็นค่าที่ตรงกับค่าทางอุดมคติสำหรับใช้เป็นชั้นดูดซับแสงในเซลล์แสงอาทิตย์รอยต่อเดี่ยว (a single band-gap junction cell) นอกจากนี้ สารประกอบ $CuInS_2$ ยังทนต่อรังสีได้ดีกว่าสารประกอบ $CuInGaSe_2$ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในอวกาศมากกว่า [12] และยังสามารถใช้เป็นเซลล์บน (Top cells) ในเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง Tandem ร่วมกับ $CuInGaSe_2$ ได้อีกด้วย [13] และยังมีความปลอดภัยที่มากกว่าสารประกอบที่มีเซเลเนียม (Selenium) เป็นส่วนประกอบอีกด้วย



รูปที่ 1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ $CuInX_2$ เปรียบเทียบกับสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อื่น ๆ [6]



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่แลตทิช (Lattice constant) กับค่าช่องว่างพลังงาน (Bandgap) ของ CIS และสารประกอบที่เกี่ยวข้อง และประสิทธิภาพทางอุดมคติ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อเดี่ยว

ถึงแม้ว่าคุณสมบัติหลายอย่างของ $CuInS_2$ จะคล้ายกับของ $CuInSe_2$ แต่องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบซัลไฟด์กลับมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารประกอบซีลีเนียม นอกจากนี้แล้ว จนถึงปัจจุบันก็ยังไม่สามารถไขความสลับซับซ้อนในเรื่องของจุดบกพร่อง (Defects) ที่อยู่ในสารประกอบ $CuInS_2$ ได้อย่างกระจ่าง ดังนั้น การหาวิธีการสร้างฟิล์มบาง $CuInS_2$ แบบใหม่ที่ไม่สลับซับซ้อน เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มที่สร้างขึ้น จึงถือเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นอย่างยิ่ง

ปัจจุบันวิธีการเตรียมฟิล์มบาง $CuInS_2$ มีอยู่หลายวิธี ทั้งที่ใช้หลักการของปฏิกิริยาเชิงเคมีและที่ใช้หลักการเชิงฟิสิกส์ มีทั้งที่ใช้และที่ไม่ใช้ระบบสุญญากาศ เช่น วิธีเอพิแทกซีลำโมเลกุล (Molecular beam epitaxy) ที่ใช้แหล่ง

กำเหนิดสามแหล่ง [14], วิธี sulphurisation กับสารตั้งต้นที่เป็นโลหะ [15], วิธีการระเหย (Evaporation) [16], วิธีการสปัตเตอร์ (Sputtering) [17], วิธีซีวีดี (CVD) [18], วิธี Ion layer gas reaction (ILGAR) จากสารละลายเคมี [19], วิธีการอาบทางเคมี (Chemical bath deposition; CBD) [20], วิธีเคลือบด้วยไฟฟ้า (Electro-deposition) [21], วิธีการเคลือบเจล (Sol–gel spin-coating) [22] และวิธีสเปรย์ (Spray pyrolysis) [23-32] เป็นต้น ปัจจุบันวิธีการระเหยสารภายใต้ความดันสุญญากาศเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง $CuInS_2$ ได้ดีที่สุด โดยประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้อยู่ที่ ~12% [9-10] อย่างไรก็ตาม ในมุมมองของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ $CuInS_2$ เชิงพาณิชย์ วิธีที่ต้องเตรียมที่ต้องใช้ความดันที่สุญญากาศอาจเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสำหรับการสร้างเซลล์ที่มีขนาดพื้นที่ใหญ่ เนื่องจากเครื่องจักรสุญญากาศมีราคาแพง ในบรรดาวิธีการสร้างฟิล์มบางที่กล่าวมาแล้ว วิธีสเปรย์เป็นวิธีที่มีข้อดีหลายอย่าง เช่น วิธีการไม่ยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายด้านเครื่องจักรและพลังงานที่ใช้ในการผลิตที่ต่ำ และที่สำคัญเป็นวิธีที่สามารถผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่สำหรับเชิงพาณิชย์ได้ อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตุว่า ไม่ว่าจะใช้เทคนิคใดในการเตรียม $CuInS_2$ ก็ตาม ปัญหาที่มักจะพบคือ ปัญหาที่สัดส่วนของธาตุในสารประกอบไม่เป็นไปตามปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometry) และปัญหาการเกิดสารประกอบอื่นๆที่ไม่ต้องการ ซึ่งปัญหาดังกล่าวก็เป็นสาเหตุของจุดบกพร่องในเนื้อฟิล์ม ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิควิธีการเตรียมอื่นๆ วิธีที่ใช้หลักการของปฏิกิริยาเชิงเคมีจะสามารถควบคุมปริมาณสัมพันธ์ได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตาม ฟิล์ม $CuInS_2$ ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีสเปรย์จากสารละลายเคมี มักจะมีส่วนประกอบของซัลเฟอต์น้อยกว่าปริมาณสัมพันธ์ [23] กลุ่มวิจัยของ Bihri and Abd-Lefdil ได้พัฒนาวิธีการเตรียม $CuInS_2$ ที่มีส่วนประกอบใกล้เคียงกับปริมาณสัมพันธ์โดยการเพิ่มอัตราส่วนของซัลเฟอต์ในสารละลายสเปรย์ให้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากซัลเฟอต์ (โดยส่วนมากใช้ thiourea: $CS(NH_2)_2$) ระเหยได้ง่าย [24] กลุ่มวิจัยของ S. Chaudhuri ได้สังเคราะห์อนุภาค $CuInS_2$ ที่มีส่วนประกอบใกล้เคียงกับปริมาณสัมพันธ์ โดยการควบคุมค่า pH ด้วยการเติมสารละลายแอมโมเนียลงในสารละลายสเปรย์ [25] นอกจากนี้ ผิวของฟิล์ม $CuInS_2$ ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีสเปรย์ก็มักจะพบว่ามีส่วนประกอบของอินเดียมที่มากเกินไป [23] และ มีรายงานว่ามีธาตุออกซิเจนในเนื้อฟิล์ม ซึ่งจะรวมตัวกับอิเดียมเกิดเป็นสารประกอบ In_2O_3 ที่บริเวณระหว่างผลึก [26] ซึ่งสารประกอบที่นำไฟฟ้าดังกล่าวสามารถกำจัดออกได้ด้วยการบำบัดด้วยสารละลาย ammonium persulfate [27] นอกจากนี้ ยังพบสารประกอบของทองแดง (มักเป็น copper sulfide) บนผิวของฟิล์ม $CuInS_2$ โดยสารประกอบทองแดงก็มักพบที่ผิวของ $CuInSe_2$ เช่นกัน อย่างไรก็ตาม สารประกอบทองแดงนี้ก็สามารถกำจัดออกได้โดยง่ายด้วยการกัดด้วย KCN

รายงานผลการวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิธีการเตรียมฟิล์มบาง $CuInS_2$ ให้ได้ส่วนประกอบใกล้เคียงกับปริมาณสัมพันธ์ ในขณะที่รายงานที่แสดงถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ฟิล์มบาง $CuInS_2$ เป็นชั้นดูดซับแสงยังมีอยู่น้อยมาก โดยประสิทธิภาพของเซลล์ส่วนใหญ่อยู่ในระดับไม่เกิน 2% [28] ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาด้านคุณภาพของชั้นดูดซับแสง $CuInS_2$ อย่างไรก็ตาม ฟิล์มบาง $CuInS_2$ ที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ให้สูงขึ้นในระดับ ~2% ได้ (โครงสร้าง: $ZnO/CdS/CuInS_2$) ได้ [29] ยิ่งไปกว่านั้น กลุ่มวิจัยในประเทศอินเดียได้รายงานประสิทธิภาพที่สูงถึง 9.5% จากรอยต่อระหว่างฟิล์มบาง $CuInS_2$ กับ In_2S_3 (โครงสร้าง: $ITO/CuInS_2/In_2S_3/Ag$, พื้นที่ของเซลล์มีขนาดเล็กมากๆ: 0.009 cm^2) [30] อย่างไรก็ตาม ภายหลังการรายงานดังกล่าวก็ไม่พบว่ามีนักวิจัยกลุ่มใดสามารถสร้างเซลล์ที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับรายงานดังกล่าวได้เลย การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเซลล์หรือการใช้คุณสมบัติของ

อนุภาคระดับนาโนเมตรก็เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ให้สูงขึ้น มีรายงานว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างร่วมกับ ZnO nanorod (โครงสร้าง: ITO/ZnO (nanorod)/'InS'(blocking layer)/In_2S_3 (buffer layer)/CIS (absorber layer)) มีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 2.5% [31] นอกจากนี้ การใช้ $CuInS_2$ ที่อยู่ในรูปของอนุภาคระดับนาโนเมตร (Nanocomposite) ร่วมกับ TiO_2 (โครงสร้าง ETA (Extremely Thin Absorber) [32]: TiO_2/In_2S_3(buffer layer)/(p) nc-$CuInS_2$) แสดงประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 5% [33]

จากผลการวิจัยข้างต้นสรุปได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง $CuInS_2$ เป็นวัสดุทางเลือกตัวหนึ่งที่สามารถแทนเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้ อย่างไรก็ตาม จากผลของการวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าปัญหาของฟิล์มบาง $CuInS_2$ ที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขมีอย่างน้อย 3 ประการคือ 1) เทคนิคการสร้างชั้นฟิล์มบาง $CuInS_2$ ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีคุณภาพสูง 2) การควบคุมคุณภาพของรอยต่อระหว่างชั้นต่างๆของฟิล์มเพื่อลดการสูญเสียที่รอยต่อ และ 3) การคิดโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบใหม่ๆ เพื่อให้ได้เซลล์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงสุด

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างชั้นฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ ($CuInS_2$; CIS) ด้วยวิธีเคลือบสเปรย์โดยใช้เครื่องเคลือบสเปรย์ที่สร้างขึ้นเอง ซึ่งประกอบด้วยหัวสเปรย์สำหรับพ่นละอองสารละลายตั้งต้น ฮีตเตอร์และระบบควบคุมอุณหภูมิของแผ่นฐานรองให้คงที่ และระบบควบคุมการป้อนสารละลายตั้งต้นเข้าสู่หัวสเปรย์แบบสลับพ่น สารละลายตั้งต้นที่ใช้ประกอบไปด้วย $CuCl_2$ เป็นสารตั้งต้นของทองแดง, $SC(NH_2)_2$ เป็นสารตั้งต้นของซัลเฟอร์ และ $InCl_2$ และ $InCl_3$ เป็นสารตั้งต้นของอินเดียม ฐานรองที่ใช้เป็นแผ่นกระจกซึ่งมีราคาถูก โดยศึกษาเทคนิคการการพ่นสเปรย์แบบสลับพ่นเพื่อให้ได้ฟิล์มที่สม่ำเสมอ ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของฟิล์ม เช่น ความเข้มข้นตั้งต้นของสารละลายและอุณหภูมิขณะเคลือบ เป็นต้น เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างฟิล์มบาง CIS ทำการวิเคราะห์ฟิล์มบางที่สร้างขึ้นด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope; SEM) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะที่พื้นผิวของฟิล์มและที่รอยต่อ, วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Analyzer (EDX), วัดค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance) เพื่อคำนวณช่องว่างพลังงานทางแสง (Optical energy-band gap; E_g), วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของฟิล์ม และวัดความหนาด้วยเครื่อง Step-profile เพื่อศึกษาอัตราการเกิดฟิล์มบาง และทำการศึกษาผลของโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยฟิล์ม $CuInS_2$ ที่เตรียมได้จะถูกใช้เป็นชั้นดูดซับแสงร่วมกับหน้าชั้นต่างรับแสง TiO_2/SnO_2 เป็นโครงสร้างแบบ Superstrate โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากคุณสมบัติ I-V ภายใต้แสง AM 1.5 มาตรฐานที่ความเข้มแสง 100mW/cm^2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเมื่อเสร็จสิ้นโครงการ

ผลงานจากการวิจัยนี้ นอกจากจะได้ต้นแบบระบบสเปรย์สำหรับเปลูกชั้นฟิล์มบางที่เป็นสารประกอบและต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว คณะผู้วิจัยยังได้พัฒนาวิธีการและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างฟิล์ม $CuInS_2$ ด้วยวิธีเคลือบสเปรย์ ซึ่งเป็นเทคนิคการสร้างฟิล์มบางที่มีต้นทุนต่ำเนื่องจากไม่ต้องใช้ระบบสุญญากาศ รวมทั้งศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึก คุณสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของฟิล์ม $CuInS_2$ ที่สร้างขึ้นและ

ประเมินเซลล์แสงอาทิตย์ในเบื้องต้น ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้เป็นความรู้ความเข้าใจที่สามารถถ่ายทอด ไม่ว่าจะเป็น การออกแบบระบบต้นแบบ เทคนิคการทดลองและการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ให้กับผู้ที่สนใจและต้องการที่จะพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางและในสาขาที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งถ้าผลงานวิจัยและพัฒนานี้ได้รับการเผยแพร่อย่างกว้างขวางแล้ว เชื่อว่าจะมีส่วนช่วยสร้างองค์ความรูทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นในประเทศให้มากขึ้นทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ รวมทั้งเป็นการผลิตและพัฒนาบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ ป้อนสู่ภาครัฐและเอกชน เพื่อเสริมสร้างศักยภาพในการแข่งขันทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและเศรษฐกิจของประเทศ