บทที่ 5
สรุป

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้มีการพัฒนาหลักกระบวนการทางเคมี และทางไฟฟ้า เพื่อทำการสร้างวัสดุอัจฉริยะอิเล็กโทรโครมิคที่เป็นแบบฟิล์มบางที่ต้องอาศัยกระบวนการควบคุมความร้อนของแผ่นบรรจุสารประกอบทังสเตนออกไซด์ที่เป็นผงให้เกิดการระเหยเป็นไอในสภาวะสูญญากาศโดยการดูดอากาศออกจากห้องหรือภาชนะที่มีเป็นระบบปิดโดยที่อากาศนั้นจะถูกดูดออกไปจากภายในของภาชนะที่บรรจุสารต้นกำเนิดของกสารประกอทังสเตนออกไซด์ และส่วนของฐานรองที่ให้สารประกอบดังกล่าวระเหยเป็นไอมายึดเกาะที่ผิวหน้าของกระจกฐานรองที่มีสารประกอบโลหะโปร่งแสงที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งในการวิจัยนี้ได้จัดสร้างเครื่องเคลือบฟิมล์สูญญากาศที่ประกอบด้วย การสร้างชุดแหล่งจ่าย ที่จะต้องจ่ายกระแสให้กับแผ่นเบ้าทังสเตนแบบหลุม เพื่อให้แผ่นเบ้าทังสเตนเกิดความร้อน ทำให้ผงสารเคมีที่ใส่ในแผ่นเบ้าทังสเตนเกิดการระเหยเป็นไอและลอยขึ้นไปเกาะติดผิวของกระจกที่เคลือบขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ต้องการจะเคลือบ โดยวงจรแหล่งจ่ายที่ออกแบบจะประกอบด้วยหม้อแปลงจำนวน 2 ตัวคือ หม้อแปลงแบบลดแรงดัน (Step down) และหม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Auto transformer) และส่วนของภาชนะที่บรรจุสารเคมี ใส้ความร้อน และแผ่นฐานรอง เพื่อการเคลือบฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์ ด้วยเครื่องเคลือบสูญญากาศที่สร้างขึ้นให้มีศักยภาพสามารถในการสร้างฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์ได้ โดยที่ฟิล์มบางที่เกิดขึ้นด้วยการควบคุมให้เป็นสภาพสูญญากาศที่ระดับความสามารถของปั๊มสูญญากาศที่มีกำลังเพียง ¼ แรงม้า พบว่าสภาพการยึดเกาะเข้ากับผิวหน้าของกระจก (Indium Tin Oxide): ITO ได้ แต่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นซึ่งมีความจำเป็นต้องทำการอบด้วยความร้อนด้วยเตาอบเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของฟิล์มที่สร้างขึ้น เนื่องจากการที่ข้อต่อ และข้อต่อต่างๆ อาจจะมีการรั่วซึม และความสามารถของการดูดอากาศออกของปั๊มสูญญากาศที่สามารถทำการลดความดันได้เพียง 0.1 Pa ซึ่งยังไม่เพียงพอต่กระบวนการสร้างจะต้องมีการพัฒนาปรับปรุงต่อไป

ในส่วนของฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์ที่สร้างขึ้นมานั้นเมื่อทำการทดสอบทางไฟฟ้ากับสารละลาบอิเล็กทรอไลท์พบว่ามีความสามารถในการเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อให้แรงดันไบอัสตรงและเมื่อให้แรงดันไบอัสย้อนกลับก็จะเป็นทำให้เกิดการเปลี่ยนของสีจางลง อีกทั้งการที่เมื่อกระจกที่เคลือบทังสเตนออกไซได้รับการไบอัสและมีการเปลี่ยนสีแล้วเมื่อไม่จ่ายแรงดันไบอัสพบว่าสภาพของสีนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง อันเนื่องจากสภาพการจำของสีซึ่งเกิดจากปฏิกริยารีดอกซ์

สรุปผลการวิจัย

วัสดุอิเล็กโทรโครมิคที่สร้างจากทั้งสเตนออกไซด์ และสารอิเล็กโทรไลท์ที่เป็นของเหลว โดยมีชั้นฟิล์มบางโลหะที่เป็นขั้วไฟฟ้าที่เป็นชั้นของอิเล็กโทรโครมิคเช่นเดียวกัน เมื่อให้แรงดันไบอัสทำให้ความเข้มสีเพิ่มขึ้นและเมื่อให้ไบอัสย้อนกลับก็จะเป็นการปรับลดความเข้มสีลง และยังมีสภาพการจำของสีเมื่อไม่ได้รับแรงดันไบอัส โดยที่ประจุอิออนจะไหลกลับในทิศทางตรงกันข้ามออกจากส่วนเนื้อสารที่จะมีการเปลี่ยนสี ไปยังส่วนของชั้นที่มีการนำประจุนั่นคือชั้นของอิเล็กโทรไลท์ และกลับเข้าสู่ชั้นที่เก็บประจุอิออน ที่เป็นปฏิกริยารีดอกซ์ สำหรับการทดสอบด้วยแรงดันกระแสสลับจะเป็นการทดสอบเพื่อเป็นการแสดงให้ทราบว่าการเปลี่ยนสถานะของการตอบสนองของปฏิกริยารีดอกซ์นั้นมีความสามารถตอบสนองต่อการปรับกระบวนการทางเคมีเพื่อใช้ในการควบคุมการเปลี่ยนจังหวะของการเกิดสีและการจางของสีด้วย switching time ซึ่งในที่นี้จากการทดสอบพบว่าการให้แรงดันไบอัสที่เป็นสัญญาณกระแสสลับจากเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ระดับแรงดัน $4V_{p-p}$ ที่คาบเวลา $T = 2\sec$ ซึ่งผลการตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับดังกล่าวนั้นมีการเปลี่ยนสถานะที่ต่ำ จึงเหมาะต่อการพัฒนาใช้เป็นกระจกที่สามารถปรับความเข้มของสีเพื่อใช้ในการควบคุมการผ่านของความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ และการใช้เป็นจอแสดงผล หรืออุปกรณ์การกรองของแสงได้

อภิปรายผล

จากการวิจัยและดำเนินการในโครงการสร้างวัสดุอัจฉริยะอิเล็กโทรโครมิค สามารถสร้างชั้นของฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์บนผิวของกระจกฐานรองที่มีขั้วโลหะโปร่งแสง (Indium Tin Oxide) : ITO ด้วยอุปกรณ์เครื่องมือที่สร้างขึ้นมาเองบางส่วน เช่นส่วนของเครื่องควบคุมกระแสที่สามารถจ่ายกระแสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยกเว้นส่วนประกอบของเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพสูงที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แต่กระนั้นในส่วนของภาชนะหรือห้องสูญญากาศที่สร้างขึ้นมาพร้อมกับชุดขั้วที่สามารถให้ความร้อนกับผงทังสเตนออกไซด์(tungstan oxide powder)ได้ แต่ยังขาดประสิทธิภาพการทำงานในส่วนของข้อต่อต่างๆ ที่อาจจะมีจุดรั่วซึมทำให้การควบคุมความดันไม่สามารถทำให้ลดต่ำถึงระดับ $p = 10^{-3} - 10^{-4}\,Pa$ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีสิ่งเจือปนในห้องสูญญากาศ และจะช่วยให้เกิดการเกาะตัวของพันธะระหว่างสารโลหะโปร่งแสง ITO กับสารประกอบทังสเตนออกไซด์ อีกทั้งการประบสมรรถนะของกระบวนการเคลือบฟิล์มดังกล่าวนี้สามารถกระทำได้ด้วยการเติมก๊าซเฉื่อย อาทิ ก๊าซอาร์กอน หรือก๊าซไนโตรเจน ที่จะช่วยปรับสมรรถนะการยึดเกาะได้ ซึ่งจะได้มีการพัฒนาต่อในการวิจัยที่สูงขึ้น เพื่อการสร้างกระจกต้นแบบที่จะพลักดันให้เกิด

อุตสาหกรรมการใช้วัสดุอิเล็กโทรโครมิค ร่วมกับกระจกกรองแสงที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นการช่วยในการประหยัดพลังงานในอาคารและครัวเรือนอยู่อาศัยได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากการสร้างฟิล์มบางของทังสเตนออกไซด์ที่ได้ พบว่าฟิล์มบางทังสเตนที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากกระบวนการสร้างไม่สามารถลดระดับความดันให้ลดต่ำถึง $10^{-3} Pa$ ซึ่งทำให้สภาพบรรยากาศภายในถังสูญญากาศมีก๊าซของธาตุอื่นๆเจือปน(contaminate)และส่วนของข้อต่อของขั้วไฟฟ้า และส่วนของข้อต่อเครื่องอุปกรณ์เซ็นเซอร์อาจจะมีการรั่วซึมทำให้การฟุ้งกระจายของไอระเหยจากสารประกอบทังสเตนออกไซด์ไม่มีการกระจายตัวลงบนผิวของกระจก ITO ได้อย่างทั่วถึง อีกทั้งการเกาะตัวของสารประกอบทังสเตนออกไซด์ยังไม่เชื่อมกับเนื้อสาร ITO ซึ่งเป็นผลของการควบคุมความร้อนขณะที่ทำการให้กระแสกับใส้ความร้อนเมื่อทำการเผาสาประกอบทังสเตนออกไซด์ให้ระเหยเป็นไอ ดังนั้นแนวทางแก้ไขจะต้องทำการออกแบบส่วนของข้อต่อขั้วไฟฟ้าและข้อต่อต่างให้ปราศจากการรั่วซึม และควรมีการใช้ปั๊มสูญญากาศที่มีสมบัติการดูดอากาศที่ต่ำมากๆ จึงจะเหมาะสม นอกจากนี้การใช้สารอิเล็กโทรไลท์ควรใช้สารละลายที่อยู่ในสถานะของเจล Solution Gel หรือทำให้อยู่ในสถานะของ Dry film electrolyte ที่ต้องใช้เทคนิคที่สูงและเครื่องมือการทดสอบจำเพาะ

แนวทางของการพัฒนาต้นแบบวัสดุอิเล็กโทรโครมิคนี้จำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการสร้าง และการทดสอบการคงสภาพของสาร และการส่งผ่านของแสง และการปรับความเข้มข้นของการละลายอิเล็กโทรไลท์