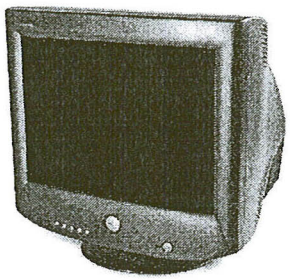
บทที่ 1 บทนำ

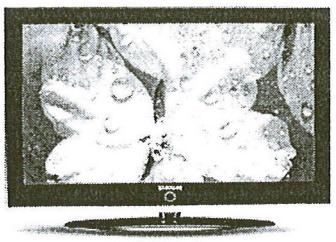
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีส่งผลให้มีการเติบโตและการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยถ้าพิจารณาจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น จอภาพ ไม่ว่าจะเป็นโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ หรือแม้กระทั่งนาฬิกา ล้วนมีพัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีของจอภาพ จากจอที่ให้แสงสว่างและมีความคมชัดน้อย จอมีขนาดใหญ่และหนักจนกลายมาเป็นจอภาพที่คมชัดให้สีสันที่สด สวยงาม พร้อมทั้งมีขนาดที่บาง น้ำหนักเบา โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในปัจจุบันของจอภาพคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 1.1 (a) ที่จากเดิมเป็นจอภาพ CRT (Cathode ray tube) มีขนาดใหญ่และมีความร้อนสูงเมื่อมีการใช้งานนาน ๆ ได้มีการพัฒนาเป็นจอ LCD (Liquid Crystal Display) ดังรูปที่ 1.1 (b) ที่มีขนาดเล็กลงและใช้พลังงานที่ต่ำกว่าและต่อมาก็ได้พัฒนามาเป็นจอ Plasma ดังรูปที่ 1.1 (c) ที่ให้ภาพที่คมชัดและมีสีสันที่สวยงามขึ้น จนถึงในปัจจุบันได้มีการคิดค้นจอภาพแบบใหม่คือจอ LED (Light-emitting diode) ดังรูปที่ 1.1 (d) ซึ่งพัฒนามาจากจอ LCD สิ่งที่แตกต่างกันคือแหล่งกำเนิดพลังงานที่แตกต่างกัน โดยจอภาพชนิด LED จะใช้พลังงานที่ต่ำกว่า และที่ใหม่ล่าสุดคือจอภาพ OLED (Organic Light Emitting Diode) ดังรูปที่ 1.1 (e) เป็นการรวมสมบัติเด่นทางแสงของจอ Plasma กับสมบัติเด่นทางไฟฟ้าของจอ LED มารวมกันซึ่งส่วนสำคัญของจอภาพแบบใหม่นี้จะประกอบด้วยชั้นฟิล์มต่าง ๆ ในรูปที่ 1.2 แสดงชั้นฟิล์มที่ประกอบกันเป็นจอ OLED โดยมีชั้นแคโทดและแอโนดเป็นฟิล์มตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงซึ่งคือฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ (Indium tin oxide, ITO)

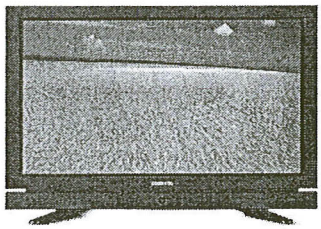
ในปัจจุบันนี้ฟิล์ม ITO ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นขั้วอิเล็กโตรดต่าง ๆ มากมาย เช่น ไดโอดเปล่งแสง โซลาร์เซลล์ จอภาพ LCD เป็นต้น เนื่องจากเป็นฟิล์มที่โปร่งแสงและนำไฟฟ้าได้ดี โดยจะเห็นได้จากอุตสาหกรรมการเคลือบฟิล์มที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมจำเป็นที่จะต้องสร้างเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ ในขณะเดียวกันก็มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของกระบวนการผลิต โดยการเตรียมฟิล์มบาง ITO มีแนวโน้มที่จะเตรียมลงบนวัสดุที่เบาและสามารถม้วนงอได้ เช่นแผ่นพลาสติกแทนวัสดุแก้วหรือกระจกซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าและขนย้ายลำบาก แต่การเตรียมฟิล์ม ITO ลงบนแผ่นพลาสติกนั้นจะมีข้อแตกต่างจากการเตรียมลงบนกระจกซึ่งจะต้องพิจารณาถึงอุณหภูมิที่ทนได้ของแผ่นพลาสติกและการยึดเกาะพร้อมทั้งให้ได้สมบัติที่ดีของฟิล์มคือมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำและให้การส่องผ่านแสงที่สูง ดังนั้นในแผนงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ทางด้านการเตรียมฟิล์มบาง ITO บนพลาสติก ด้วยเทคนิค ดีซี และ ดีซี พัลส์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง โดยศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบเพื่อก่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม



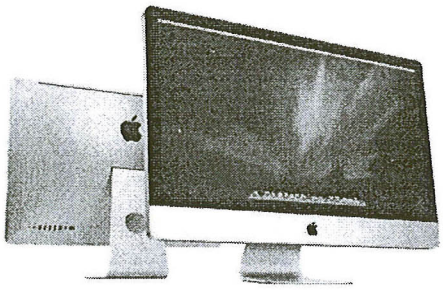
(a) จอภาพชนิด CRT



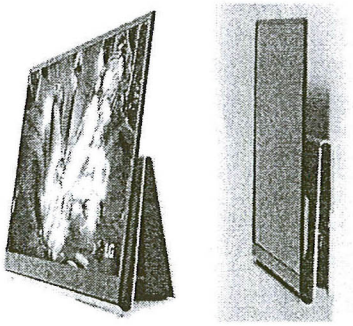
(b) จอภาพชนิด LCD



(c) จอภาพชนิด Plasma

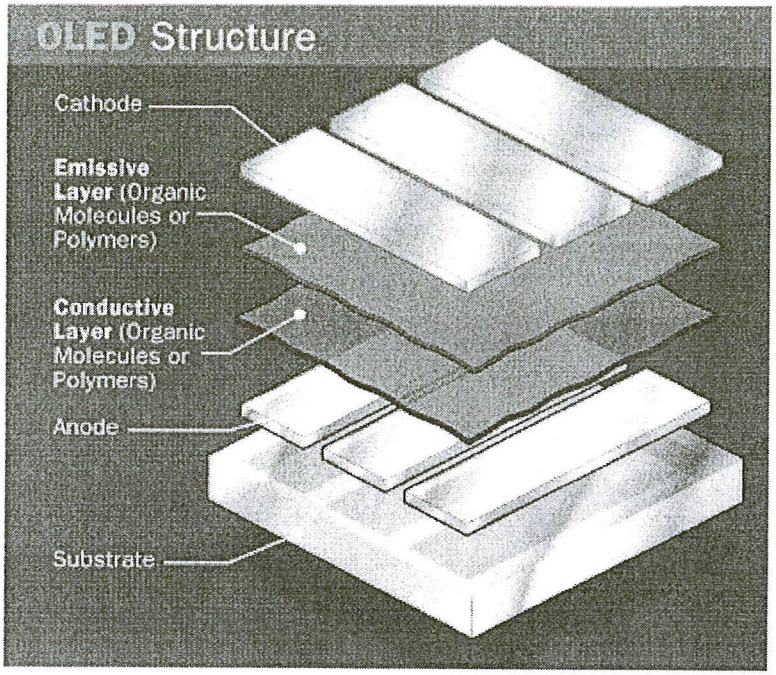


(d) จอภาพชนิด LED



(e) จอภาพชนิด OLED

รูปที่ 1.1 จอภาพชนิดต่าง ๆ (a) จอภาพชนิด CRT (b) จอภาพชนิด LCD (c) จอภาพชนิด Plasma (d) จอภาพชนิด LED และ (e) จอภาพชนิด OLED



รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบชั้นฟิล์มในอุปกรณ์ OLED [1]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเตรียมฟิล์มบาง ITO ด้วยเทคนิค ดีซี และ ดีซี พัลส์ แมกนีตรอนสปัตเตอริง ลงบนแผ่นพลาสติก
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ระหว่างการเคลือบ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เป้าสารเคลือบ อัตราการป้อนก๊าซเข้าทำปฏิกิริยา และความหนาของฟิล์ม ต่อสมบัติทางแสง สมบัติเชิงโครงสร้าง และสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม ITO ที่เคลือบลงแผ่นพลาสติก
3. เพื่อสร้างบุคลากร และนักวิจัย ที่มีความรู้และเชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบางและฟิล์มที่เคลือบลงบนพลาสติกสำหรับสนับสนุนอุตสาหกรรมการเคลือบฟิล์มเพื่อพึ่งพาตัวเองในระยะยาวต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เตรียมฟิล์มบาง ITO ลงบนแผ่นพลาสติกโดยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีและดีซีพัลส์แมกนีตรอน สปัตเตอริง ลงบนแผ่นพลาสติกโดยศึกษาตัวแปรของเงื่อนไขการเคลือบฟิล์ม ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่เป้าสารเคลือบ
- อัตราการป้อนก๊าซเข้าทำปฏิกิริยา
- ความหนาของฟิล์ม (เวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม)

ในการวิจัยจะทำการทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มดังนี้

- สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง XRD
- สมบัติทางแสงของฟิล์มด้วยเครื่อง Spectrophotometer
- สมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่อง Four point probe

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการทำงานและการใช้งานเครื่องดีซีและดีซีพัลส์แมกนีตรอนสปัตเตอริง
3. สร้างสมมติฐานและกำหนดเงื่อนไขในการเคลือบฟิล์ม ITO ลงบนพลาสติกชนิด PET (Polyethylene terephthalate) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 260^{o}C
4. เตรียมฟิล์มบาง ITO ตามเงื่อนไขที่ศึกษา
5. นำฟิล์มที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้าง ทางแสง และทางไฟฟ้า
6. สรุปผลหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเตรียมฟิล์ม ITO ต่อการนำไปประยุกต์ใช้
7. เขียนรายงานและเผยแพร่การวิจัย

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

- ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)
- ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

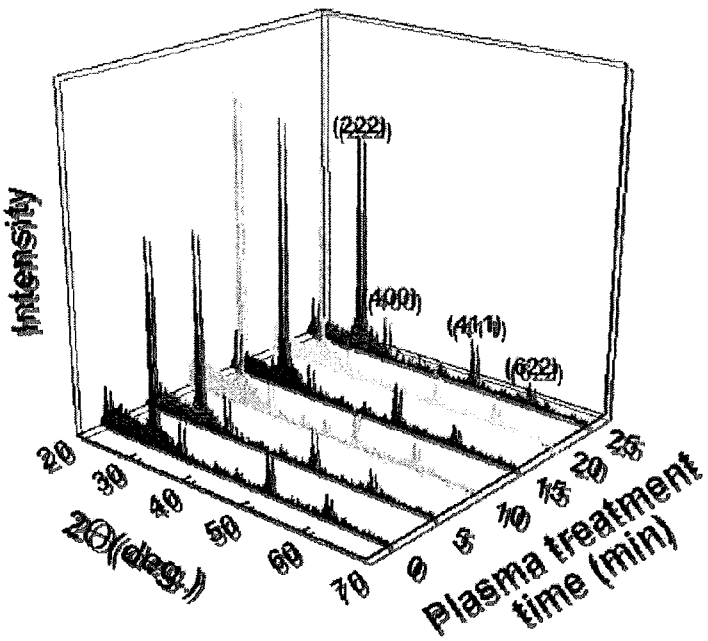
1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีดีซีและดีซีพัลส์แมกนีตรอนสปัตเตอริง
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องมือต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์ฟิล์ม
3. สามารถเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ลงบนแผ่นพลาสติกใสและอธิบายได้ว่าตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษานั้นส่งผลต่อสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์อย่างไร

1.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ ที่เกี่ยวข้อง

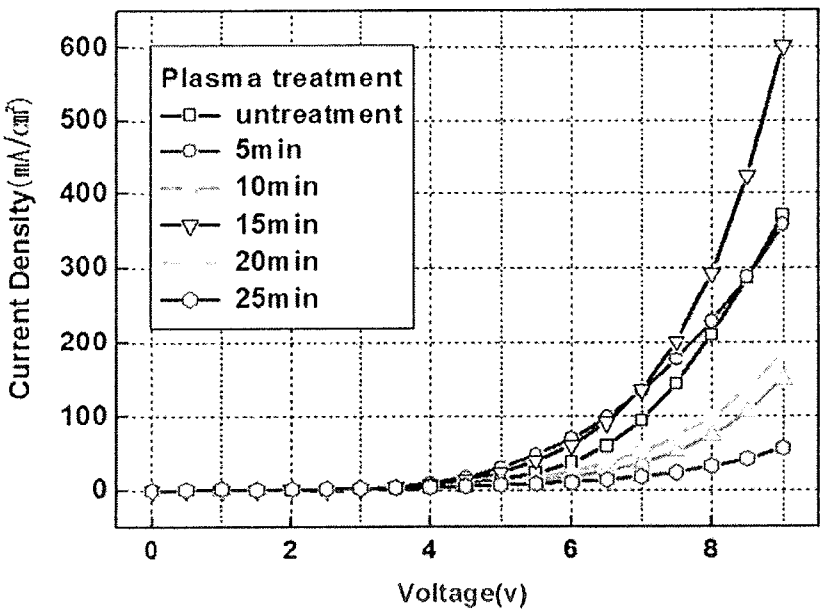
ฟิล์มบาง ITO เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีพาหะหลักเป็นอิเล็กตรอน (n-type semiconductor) ฟิล์มดังกล่าวจะมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีและยอมให้แสงในช่วงตามองเห็นผ่านได้สูง โดยสามารถสะท้อนรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีความร้อน [2,3] ดังนั้นจึงมีการนำฟิล์มนี้ไปประยุกต์ใช้งานมากมาย เช่น ขั้วตัวนำ

โปร่งแสงของไดโอดเปล่งแสง (Organic Light Emitting Diode, OLED) [4,5] อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ (Gas sensor) [6] ขั้วตัวนำในโซลาร์เซลล์ [7,8] และฟิล์มสะท้อนความร้อน [9] เป็นต้น โดยสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับการขาดออกซิเจนในเนื้อฟิล์ม [3] และความเป็นผลึกของฟิล์ม [10] ฟิล์มบาง ITO สามารถเตรียมได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น ดีซีและอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปัตเตอริง [11-19] โซลเจล [20] ไอระเหยทางเคมี (Chemical Vapor Deposition, CVD) [21] และการใช้ลำอิเล็กตรอน [22] เป็นต้น เทคนิคการเคลือบฟิล์มแบบ ดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริงเป็นเทคนิคที่ให้การยึดเกาะของฟิล์มที่ดี อัตราการเคลือบฟิล์มสูง และไม่มีสารพิษเหลือตกค้างจากการผลิต นับได้ว่าเป็นเทคนิคการเตรียมฟิล์มที่สะอาดโดยในปัจจุบันได้มีการเตรียมฟิล์ม ITO ลงบนแผ่นพอลิเมอร์ต่าง ๆ ซึ่งการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มนั้นเป็นเรื่องที่ยากกว่าการเคลือบฟิล์มลงบนกระจก มีรายงานวิจัยว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มมีค่าสูงกว่า 5×10^{-4} Ω.cm เมื่อเตรียมฟิล์ม ITO ลงบน PET โดยเทคนิค Pulsed Laser [22] ดีซีและอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปัตเตอริง [24,25] แต่อย่างไรก็ตามสมบัติของฟิล์ม ITO โดยเฉพาะค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะขึ้นกับความหนาของฟิล์ม โดยฟิล์มจะเป็นผลึกเมื่อความหนาของฟิล์มสูงมากกว่า 80 nm [10] และพบว่าที่ความหนาฟิล์มประมาณ 447 nm ฟิล์มจะมีค่าความต้านทานเชิงแผ่น (Sheet resistance) ต่ำสุดเท่ากับ 12.6 Ω/sq [26] นอกจากนี้แล้วยังพบว่าสมบัติของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับตัวแปรของการเคลือบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้เป้าสารเคลือบ อัตราการป้อนก๊าซเข้าทำปฏิกิริยา ระยะห่างระหว่างแผ่นรองเคลือบกับเป้าสารเคลือบ เป็นต้น

ในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม ITO นั้นนอกจากการอบฟิล์มหรือให้ความร้อนแก่วัสดุรองรับแล้วยังมีวิธีการให้พลาสมาแก่ฟิล์มโดย Chul Yoon และ Sang-Ho Kim [27] ได้ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของอินเดียมทินออกไซด์ถูกเคลือบโดยวิธีสปัตเตอริงแบบเป้าคู่และผลกระทบบนประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์พบว่าการสปัตเตอริงแบบดีซีหรืออาร์เอฟนั้นจะถูกปรับปรุงสภาพความเป็นผลึก ขนาดเกรน ความขรุขระพื้นผิว และปริมาณของออกซิเจนในฟิล์มโดยการให้พลาสมาออกซิเจนแก่ฟิล์มและผลกระทบต่อลักษณะของกราฟกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า (I-V) ในอุปกรณ์ OLED ความเป็นผลึกของอินเดียมทินออกไซด์นั้นถูกปรับปรุงโดยการให้พลาสมาออกซิเจนแก่ฟิล์มด้วยเวลาน้อยกว่า 15 นาที เกรนของฟิล์มมีลักษณะเป็นท่อนยาวเท่าๆกัน (equi-axed) และเปลี่ยนรูปร่างเป็นแบบคอลัมนา (columnar) และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากฟิล์มตัวอย่างแสดงให้เห็นได้ว่าฟิล์มมีการจัดเรียงตัวบนระนาบ (222) (รูปที่ 1.3) พีคที่ระนาบ (222) สูงขึ้นหมายถึงความเป็นผลึกของฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วยเวลาการให้พลาสมาออกซิเจนแก่ฟิล์มซึ่งสูงสุดที่เวลา 10 นาที และพีครองลงมาที่ 15 นาที



รูปที่ 1.3 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่เวลาการให้พลาสมาออกซิเจนแตกต่างกัน [27]



รูปที่ 1.4 ลักษณะของ I-V ในอุปกรณ์ OLED สำหรับขั้วแอโนดของอินเดียมทินออกไซด์ด้วยเวลาที่ให้พลาสมาออกซิเจนแตกต่างกัน [27]

ลักษณะกราฟ I-V ของอุปกรณ์ OLED (รูปที่ 2.9) แสดงค่าที่ดีซึ่งสัมพันธ์กันกับการให้พลาสมาแก่อินเดียมทินออกไซด์เป็นเวลา 15 นาที ผลที่ได้จะพิจารณาจากสภาพของขั้วแอโนดของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่มีปริมาณออกซิเจนระดับสูงในลักษณะเกรนแบบ equi-axed และมีความเป็นผลึกที่ดีและความขรุขระพื้นผิวที่เหมาะสมด้วยการให้พลาสมาเป็นเวลา 15 นาที