



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การศึกษาผลกระทบของอิเล็กทรอนิกส์ในระบบการเคลือบฟิล์ม
แบบสปีดเทอรัริงต่อการเสียสภาพของชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสง”

สัญญาเลขที่ DIG5180010

โดย ดร.สมศักดิ์ แดงดีบ และคณะ

วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การศึกษาผลกระทบของอิเล็กทรอนิกส์ในระบบการเคลือบฟิล์ม

แบบสปีดเตอริงต่อการเสียสภาพของชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสง”

ดร.สมศักดิ์ แดงดีบ และคณะ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

(Executive Summary)

ในปัจจุบันอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสง เริ่มได้รับความนิยมกันแพร่หลายมาก ทั้งในโทรศัพท์มือถือ โทรทัศน์ แผ่นไฟส่องสว่าง และอุปกรณ์แสดงผลอื่นๆ และคาดกันว่าจะเป็นอุปกรณ์หลักของการแสดงผลและการส่องสว่างในอนาคตอันใกล้นี้ จากการที่ชั้นสารอินทรีย์ในอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง ทำให้กินพลังงานไฟฟ้า และแสงที่ได้เปล่งออกมารอบทิศทาง ขยายมุมของการมองครอบคลุมทิศเกือบ 180 องศา อุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงที่มีชั้นสารอินทรีย์เป็นชั้นฟิล์มบาง ในระดับความหนาประมาณ 100 นาโนเมตร ซึ่งถือว่าบางมาก ความหนารวมของชั้นฟิล์มบางและชั้นสารอื่น ๆ ของทั้งอุปกรณ์ ยังคงบางมาก ทำให้สามารถพัฒนาอุปกรณ์ที่มีขนาดบาง เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ที่วางตลาดแล้ว ที่ใช้สารอินทรีย์เปล่งแสงเป็นจอแสดงผล จอนั้นบางเพียงสามมิลลิเมตรเท่านั้น

กระบวนการสเปกโตรริงอาศัยไอออนจากพลาสมาพุ่งเข้าชนกับเป้า ทำให้ธาตุหรือโมเลกุลของวัสดุเป้าหลุดออกมา แล้วเคลื่อนเข้าไปเกาะบนผิวของวัสดุฐานรองและสะสมตัวต่อเนื่องเป็นชั้นฟิล์มบางเคลือบบนวัสดุ การประกอบอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสง มักจะมีการใช้การสเปกโตรริงเข้ามาร่วมในการเคลือบฟิล์มบางด้วยเสมอ เช่น ในขั้นตอนการเคลือบขั้วอิเล็กโทรดทับชั้นฟิล์มสารอินทรีย์ในอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงด้านบน (top emitting) หรือแบบหลายชั้น (stacked) กระบวนการสเปกโตรริงจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อการพัฒนาอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสง การสเปกโตรริงนอกเหนือจากจะทำให้ธาตุหรือโมเลกุลของวัสดุเป้าหลุดออกมาแล้ว ยังมีอนุภาคทุติยภูมิอื่นเช่น อิเล็กตรอนทุติยภูมิ หลุดออกมาด้วย ด้วยประจุและพลังงานจลน์ ระยะปลดการชน ที่เหมาะสม อิเล็กตรอนสามารถจะเคลื่อนที่ไปถึงวัสดุฐานรอง ที่มีอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงได้ ผลของการเข้าปะทะของอิเล็กตรอน อาจก่อให้เกิดการรวมกันของโมเลกุลของสารอินทรีย์เป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น (dimerization and polymerization) การเชื่อมต่อข้ามแนวแกนหลัก (cross linking) การแตกเป็นส่วนย่อย (fragmentation) ล้วนแล้วแต่มีส่วนทำให้เกิดการเสถียรภาพของสารอินทรีย์ขึ้นมา ซึ่งอาจทำให้ แสงที่เปล่งออกมาเปลี่ยนสีไป ความเข้มของแสงลดน้อยลง ทำให้กระทบต่อการทำงานหรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ได้

ระดับของการเสถียรภาพของสารอินทรีย์ เมื่อถูกกระทำโดยอนุภาคหรือรังสีทุติยภูมิเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาค ทิศทางของการเข้าปะทะ โครงสร้างของสารอินทรีย์ ชนิดหรือพันธะหลักในสารอินทรีย์เป็นต้น แม้จะมีการศึกษาผลของการเสถียรภาพแต่ละพารามิเตอร์ ที่ผ่านมา แต่ยังไม่มีการรวบรวมกันเข้าเป็นชิ้นเดียวกัน

การศึกษานี้จะเลือกศึกษาบนชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เปล่งแสง Alq_3 เพียงชั้นเดียว เป็นการศึกษาเสถียรภาพทางแสงของชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เปล่งแสง เนื่องมาจากการเคลือบชั้นฟิล์มคาโธดโปรงแสง แบบ (ก) ชั้นตอนเดียวและ (ข) สองชั้นตอนที่กำลังพลาสมาต่ำเป็นชั้นบาง ๆ แล้วจึงตามด้วยกำลังปกติจนได้ความหนาที่ต้อง และศึกษาความสามารถในทะลุทะลวงของอิเล็กตรอนพลังงานต่าง ๆ ไปในชั้นฟิล์มสารอินทรีย์ ทั้งในแบบ (ก) และ (ข) เพื่อวิเคราะห์ เปรียบเทียบและสรุป

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการเคลือบฟิล์มคาโทดโปร่งแสง (ITO) ด้วยกระบวนการสปัตเตอร์ริงลงบนชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เรืองแสง Alq_3 ความหนา 50 นาโนเมตร ที่เคลือบด้วยกระบวนการระเหิดความร้อน โดยเลือกศึกษา การเสียสภาพการเรืองแสงของชั้นฟิล์มสารอินทรีย์ เมื่อ ถูกเคลือบฟิล์มคาโทดโปร่งแสงในสองเงื่อนไข (ก) การเคลือบฟิล์มคาโทดที่กำลังปกติ (200 วัตต์) ในขั้นตอนเดียวกระทั่งได้ความหนาของฟิล์มคาโทดความหนา 100 นาโนเมตร และ (ข) การเคลือบฟิล์มคาโทดที่กำลังต่ำ (50 วัตต์) เป็นชั้นบาง 4 นาโนเมตร ก่อนแล้วจึงเป็นขั้นตอนของการเคลือบฟิล์มคาโทดที่กำลังปกติ (200 วัตต์) ความหนา 100 นาโนเมตร ทับซ้อน ในการศึกษาพบการเสียสภาพของชั้นฟิล์มสารอินทรีย์ในสองลักษณะ คือการเลื่อนในความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาจากชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เรืองแสง และการลดทอนความเข้มของแสง ในกรณี (ก) มากกว่ากรณี (ข) สันนิษฐานว่า พลังงานของอนุภาคจากพลาสมา เช่นอิเล็กตรอน ที่มีพลังงานเพิ่มขึ้นตามกำลังของพลาสมา เมื่อเข้ากระทบกับชั้นสารอินทรีย์ทำให้ส่งผลกับจำนวนพันธะที่มากกว่า ทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ลึกลงไปชั้นฟิล์มของสารอินทรีย์มากกว่า ทำให้เสียสภาพมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลอง แนวทางหนึ่งในการลดการเสียสภาพคือการเคลือบฟิล์มคาโทดรองพื้นที่กำลังพลาสมาต่ำก่อน ให้มีความหนาเล็กน้อย ก่อนที่จะเคลือบฟิล์มคาโทดที่กำลังปกติ

Abstract

This work studied effects of sputtered-deposition of transparent cathode film (ITO) on an organic light emitting layer, Alq_3 . The thin organic light emitting layer of 50 nm was first evaporated before overlaid with ITO films by sputtering. Two conditions of ITO sputtering were studied; (a) normal-power deposition at 200 W in one step to 100 nm and (b) low-power deposition (50 W) to 4 nm thick followed by normal-power deposition to 100 nm. It has been found that the organic layer films were affected on two ways; one was color shifting and the other was reduction on light emission intensity. Both effects were stronger in the first conditions, i.e., one-step process than the two-step process. One of the explanations may come from the fact that particles become more energetic at higher sputtering power; hence more numbers of bonding to be damaged and more penetrating power to deeper into the organic layer. This result agrees well with our simulation. One way to suppress this problem is to use the two-step process with low-power sputtering as a buffer-layer prior to the normal deposition.

เนื้อหางานวิจัย

ในปัจจุบันอุปกรณ์เปล่งแสงจากสารอินทรีย์ (Organic Light Emitting Devices) หรือไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์ (Organic light emitting diodes, OLED) เริ่มได้รับความนิยมกันแพร่หลายมาก ทั้งในโทรศัพท์มือถือ โทรทัศน์ แผ่นไฟส่องสว่าง และอุปกรณ์แสดงผลอย่างอื่น ๆ และได้รับการคาดหมายว่า จะเป็นอุปกรณ์หลักเพื่อการแสดงผลที่จะมาทดแทนการแสดงผลแบบผลึกเหลวหรือแบบพลาสมา ชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงไม่ต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงอื่น อุปกรณ์เปล่งแสงจากสารอินทรีย์จึงกินพลังงานไฟฟ้า และแสงที่ได้เปล่งออกมาครอบคลุมมุมมองเกือบรอบทิศทาง 180 องศา ชั้นสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นชั้นฟิล์มบางเปล่งแสงมีความหนาเพียง 100 นาโนเมตร รวมกับความหนาของชั้นฟิล์มบางอื่น ๆ แล้ว ทำให้สามารถพัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดที่บาง ตลอดจนการควบคุมสีที่เปล่งออกมาด้วยการควบคุมชนิดหรือโครงสร้างของโมเลกุลของสารอินทรีย์ ทำให้สามารถเลือกการเปล่งสีแดง เขียวน้ำเงิน หรือสีขาว จากโมเลกุลที่เหมาะสม นอกจากนี้อุปกรณ์เปล่งแสงจากสารอินทรีย์ ตอบสนองได้รวดเร็วกว่าจอแสดงผลแบบอื่นมากถึง 100 เท่า ปัจจุบันเริ่มมีการนำเครื่องรับโทรทัศน์ ที่มีจอแสดงผลจากสารอินทรีย์เปล่งแสงที่หนาไม่เกินสามมิลลิเมตร ออกวางขายในท้องตลาดแล้ว

ศักยภาพของเทคโนโลยีอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงเป็นสิ่งที่ไม่ควรจะมองข้าม แม้อุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงจะมีการพัฒนามายาวนานพอสมควร แต่ เทคโนโลยีนี้ยังต้องการการวิจัยและพัฒนาเชิงลึกต่อไปอีก เพื่อหาจุดที่เหมาะสม ให้ก้าวข้ามปัญหาเรื่อง อายุการใช้งาน ประสิทธิภาพของการส่องสว่าง ก่อนจะก้าวเข้ามาทดแทนเป็นอุปกรณ์แสดงผลหลักได้สมบูรณ์

ประเทศไทยมีความแข็งแกร่งทางเคมีอินทรีย์ พอลิเมอร์ และ เคมีสังเคราะห์ รวมถึงความสามารถด้านเครื่องมือ และประสบการณ์ด้านการประกอบอุปกรณ์ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะเพาะบ่มศักยภาพของเทคโนโลยีอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงให้กล้าแข่งขัน บทความนี้จะนำเสนอ เส้นทางพัฒนา หลักการทำงาน แนวโน้มของการพัฒนาอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงทั้งในด้านวัสดุ และกระบวนการ ตลอดจนนำเสนอผลงานวิจัยบางส่วนที่เกี่ยวข้องกัน

การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

เทคโนโลยี OLED ได้รับการยอมรับและประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ เช่น จอแสดงผลขนาดเล็กของโทรศัพท์มือถือ และ เครื่องเล่น MP3 แบบพกพา วิทยุในรถยนต์ กล้องถ่ายรูปดิจิทัล และ จอแสดงผลความละเอียดสูงในอุปกรณ์แสดงผลแบบสวมศีรษะ การนำไปใช้งานสะท้อนให้เห็นถึงข้อดีของ OLED ที่ให้ความคมชัดแม้ในที่สว่างจ้า และ ความประหยัดไฟ การใช้งานอุปกรณ์แสดงผลแบบพกพาเองเป็นแบบช่วงๆ ทำให้อายุการใช้งานที่จำกัดของ OLED ไม่ใช่อุปสรรค อุปกรณ์แสดงผลต้นแบบที่บีบอัดและม้วนได้เริ่มมีให้เห็นบ้างแล้ว บริษัทผลิตโทรศัพท์มือถือ เช่น โมโตโรลา และ ซัมซุง รวมไปถึง โซนี่ อิริกสัน เช่นรุ่น Z610i และ โซนี่

วอล์คแมน บางรุ่น ได้นำ OLED ไปใช้ในส่วนแสดงผล นอกจากนั้น ยังพบได้ในเครื่องเล่น MP3 รุ่น Creative เช่น v/v plus โนเกียเริ่มนำ OLED ไปประยุกต์ใช้ในโทรศัพท์มือถือรุ่น ปริซึม 7900 และ อาร์ต 8800 เมื่อ สิงหาคม 2551 บริษัทโนเกียได้เปิดตัวสมาชิกใหม่ของซีรี่เอ็น รุ่น N85 ที่ใช้จอแสดงผลแบบ AMOLED¹ ขนาด 2.6 นิ้ว ซึ่งจัดว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มโทรศัพท์มือถือ GSM บริษัท Samsung ได้จัดวางจำหน่าย โทรศัพท์มือถือรุ่น Galaxy S I9000 ที่ใช้หน้าจอสแสดงผลแบบ SuperAMOLED อยู่ในปัจจุบัน ขณะที่ ตุลาคม 2550 โซนี่เป็นบริษัทแรกที่ประกาศสร้างโทรทัศน์ OLED รุ่น XEL-1 ขนาด 11 นิ้ว และได้เริ่มวางจำหน่ายตั้งแต่ เดือนธันวาคม 2550 และเมื่อเดือนเมษายน 2551 บริษัทนำเสนอจอแสดงผลขนาด 3.5 นิ้ว ความละเอียด 320×200 จุด ที่มีความหนาเพียง 0.2 มม. และ จอแสดงผลความละเอียด 960×540 จุด ความหนา 0.3 มม. ความหนาของจอนี้มีขนาดเพียงหนึ่งในสิบของโทรทัศน์รุ่น XEL-1 ที่ความกว้างและความละเอียดเท่ากัน

¹ AMOLED = Active Matrix OLED

ตัวอย่างการนำอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงมาใช้เชิงพาณิชย์



(ก)



(ข)



(ค)

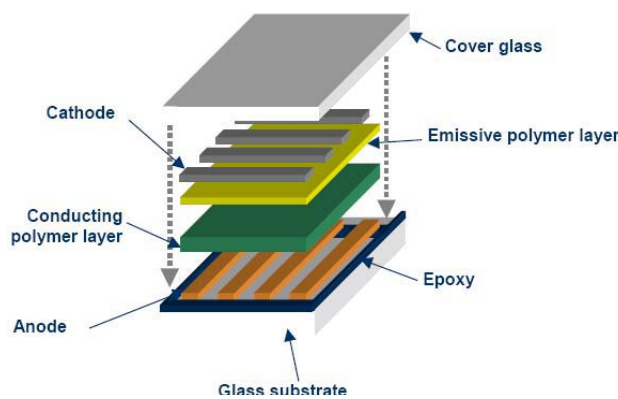


(ง)

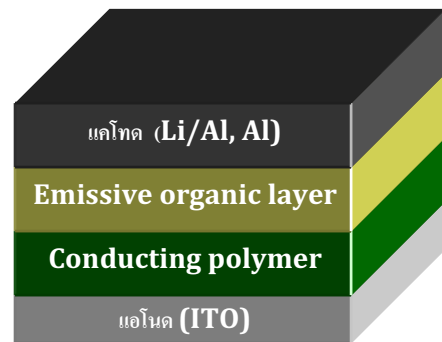
รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้แสดงผลแบบสารอินทรีย์เปล่งแสง (ก) โทรศัพท์มือถือหรือเคลื่อนที่ (ข) หลอดไฟให้แสงสว่าง (ค) เครื่องรับโทรทัศน์ (ง) นาฬิกาข้อมือที่มีจอแสดงผลเพื่อใช้รับชม วิดีทัศน์หรือโทรทัศน์ได้

โครงสร้างและการทำงานของอุปกรณ์เปล่งแสงจากสารอินทรีย์

โครงสร้าง OLED จะประกอบด้วยขั้วสเตรต ชั้นแอโนด ชั้นนำไฟฟ้า ชั้นเปล่งแสง และ แคโทด ในอุปกรณ์แสดงผลที่ใช้งานจริงจะมี กาวอีพอกซี และ กระดาษชั้นบน เพื่อหุ้มห่ออุปกรณ์ทั้งหมดไว้ รูปที่ 2(ก) แสดง โครงสร้างรวมของอุปกรณ์และ (ข) แสดงภาพขยายของแต่ละฟิสิกเซลล์



(ก)

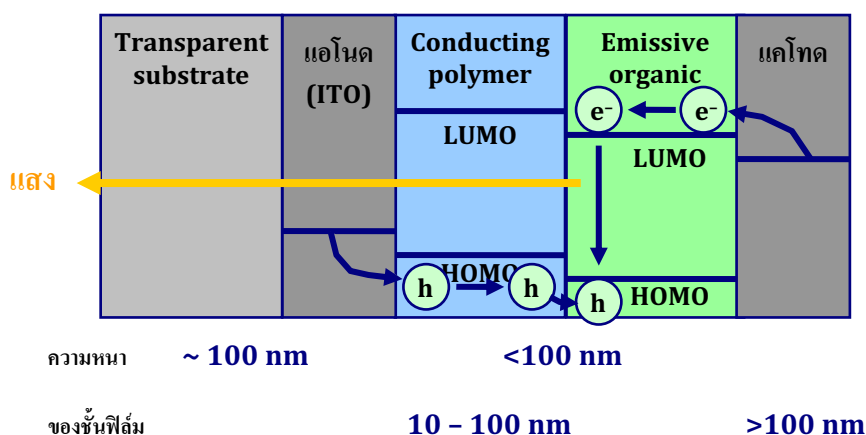


(ข)

รูปที่ 2 (ก) โครงสร้างของจอแสดงผล (ข) ภาพขยายของโครงสร้างของแต่ละฟิสิกเซลล์ในจอแสดงผล

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ชั้นฟิล์มบางสารอินทรีย์หรือสารประกอบโลหะอินทรีย์จะปลดปล่อยแสงออกมาผ่านทะลุขั้วไฟฟ้าด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน (ดูการทำงานในรูปที่ 3 ประกอบ) ชั้นสเตรตในโครงสร้าง OLED เป็นวัสดุยอมให้แสงผ่านได้ เช่น แผ่นกระจกแก้ว หรือพลาสติกใส ชั้นสเตรตนี้จะถูกเคลือบด้วยขั้วไฟฟ้าแอโนดโปร่งแสง ซึ่งมักจะใช้ออกไซด์ของอินเดียมที่โด๊ปด้วยดีบุก (หรือ ITO) ความหนาของชั้นแอโนดประมาณ 100 นาโนเมตร จากนั้นจะมีชั้นฟิล์มบางที่ช่วยการนำไฟฟ้าของพาหะโฮล ความหนาช่วง 10 ถึง 100 นาโนเมตร แล้วจึงทำการเคลือบชั้นสารอินทรีย์ที่ทำหน้าที่เปล่งแสง ที่ความหนาไม่เกิน 100 นาโนเมตร ชั้นสารอินทรีย์ที่เปล่งแสงจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีช่องว่างระดับพลังงานในช่วงแสงที่ตามองเห็นและสามารถเกิดปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) ได้ เช่น สารประกอบ Alq₃ หรือเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีพันธะคอนจูเกต อาทิ เช่น พอลิพีนิลีน (poly(p-phenylene vinylene), PPV) และ พอลิฟลูออรีน (polyfluorene, PF)

ด้านบนของฟิล์มเปล่งแสงจะเคลือบด้วยขั้วไฟฟ้าที่มีค่าฟังก์ชันงานใกล้เคียง กับค่า LUMO ในฟิล์มเปล่งแสง เพื่อลดระดับกำแพงศักย์ที่อิเล็กตรอนต้องข้ามจากชั้นแคโทดนี้ไปยังชั้นฟิล์มสารอินทรีย์ โดยทั่วไปอาจเลือกใช้โลหะแคลเซียมหรือลิเทียมเป็นแคโทด แล้วเคลือบทับด้วยอลูมิเนียมเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจน ความหนารวมของชั้นแคโทดไม่ต่ำกว่า 100 นาโนเมตร รูปที่ 3 แสดงระดับพลังงานสัมพัทธ์ระหว่างแต่ละชั้นฟิล์ม อย่างไรก็ตาม อาจมีการปรับปรุงโครงสร้าง OLED โดยเพิ่มชั้นช่วยการนำอิเล็กตรอนระหว่างชั้นฟิล์มเปล่งแสงและแคโทด เพื่อช่วยปรับระดับพลังงานของอิเล็กตรอนระหว่างชั้นแคโทดและฟิล์มเปล่งแสง ในการออกแบบโครงสร้าง OLED จึงต้องพยายามปรับ ปริมาณการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลและอิเล็กตรอนจากชั้นแอโนดและแคโทดให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของพาหะอิสระทั้งสองอย่างเหมาะสมและพอดีในชั้นของฟิล์มสารอินทรีย์เปล่งแสง



รูปที่ 3 โครงสร้างและระดับพลังงานสัมพัทธ์ระหว่างฟิล์มชั้นต่าง ๆ ใน OLED ลูกศรสีน้ำเงินแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮล และลูกศรสีเหลืองแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงที่เปล่งออกมา

โดยทั่วไปสารอินทรีย์เปล่งแสงจะมีการนำไฟฟ้าที่ต่ำ คือ มีสภาพเคลื่อนที่ได้ของพาหะโฮลในช่วง 10^{-7} ถึง $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ในขณะที่สภาพเคลื่อนที่ได้ของอิเล็กตรอนจะน้อยกว่า 10 ถึง 100 เท่า ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่เป็นระเบียบของการเรียงตัวของโมเลกุลในฟิล์ม การเคลื่อนที่ของพาหะอิสระในสารอินทรีย์นี้จะเป็นการกระโดด (hopping) ของพาหะระหว่างสถานะในแต่ละโมเลกุล จากผลการวัดสภาพเคลื่อนที่ได้ของพาหะในโครงสร้าง OLED ด้วยวิธีต่างๆ พบว่าค่านี้จะเปลี่ยนไปตามค่าสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้ในแต่ละช่วง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยการเกิดโพลารอน โดยพาหะจะมีอันตรกิริยาก่อนข้างแรงกับการสั่นของโมเลกุลและโมเลกุลใกล้เคียง

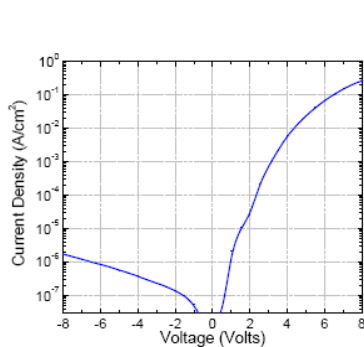
ที่บริเวณรอยต่อระหว่างขั้วไฟฟ้าและสารอินทรีย์ โดยปกติระดับพลังงานของพาหะในโลหะและสารอินทรีย์จะมีกำแพงศักย์ เนื่องจากความต่างกันของระดับพลังงานอยู่แต่เมื่อมีการถ่ายเทพาหะไปยังสถานะกักกัน (trapped state) ในสาร จะเกิดศักย์ที่สามารถลดกำแพงศักย์ได้อย่างมากในบริเวณรอยต่อซึ่งเรียกว่าศักย์แรงเสมือน ทำให้พาหะสามารถถูกฉีดเข้าไปสารอินทรีย์ได้ จากนั้นพาหะจะกระโดดเข้าไปในสารตามแนวของสนามไฟฟ้าภายนอกที่ป้อนให้

เพื่อให้ OLED เปล่งแสงออกมาให้มีความเข้มมากนั้น จำเป็นต้องให้มีการฉีดกระแสที่ความหนาแน่นต่อหน่วยพื้นที่สูงมาก เข้าไปยังสารอินทรีย์ที่มีสภาพเคลื่อนที่ได้ของพาหะน้อยมาก จึงจะทำให้มีการสะสมของประจุจำนวนมาก ด้วยสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโครงสร้าง OLED จะทำให้ประจุเหล่านี้ ปรับการกระจายตัวใหม่ และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ที่ได้ จึงมีลักษณะคล้ายกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในกระบวนการจำกัดกระแสด้วยประจุ ซึ่งกระแสจากกระบวนการนี้จะขึ้นกับความต่างศักย์ยกกำลังค่าต่าง ๆ ขึ้นกับลักษณะและปริมาณของสถานะกักกัน

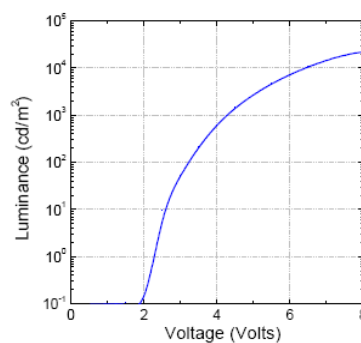
การพัฒนาให้ OLED มีประสิทธิภาพทางพลังงานสูง หรือ ทำให้แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงให้เปล่งออกมามากที่สุดนั้น นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อการใช้งาน แล้วยังช่วยยืดอายุการใช้งานของ อุปกรณ์ OLED ด้วย เพราะช่วยลดการเกิดพลังงานความร้อนในอุปกรณ์ให้น้อยลง ประสิทธิภาพของ OLED นี้ขึ้นกับประสิทธิภาพการเปล่งแสงของโมเลกุล อัตราส่วนการปลดปล่อยโฟตอนจากผิวของอุปกรณ์ อัตราส่วนการเกิดเอ็กซิตอน (exciton) ต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า และอัตราส่วนการเกิดเอ็กซิตอนเดี่ยวต่อเอ็กซิตอนที่ไม่เกิดการเปล่งแสง จากการประมาณทางทฤษฎีประสิทธิภาพสูงสุดของ OLED จะถูกจำกัดอยู่ประมาณ 15 % ของประสิทธิภาพการเปล่งแสงจากโมเลกุล

คุณลักษณะของอุปกรณ์เปล่งแสงจากสารอินทรีย์

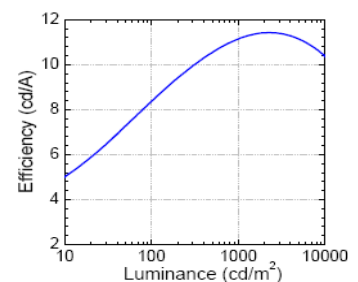
ลักษณะเฉพาะที่ดีของ OLED วัดได้จากหลายพารามิเตอร์ เช่น ความหนาแน่นกระแสที่สูงเมื่อผ่านความต่างศักย์ไฟตรงให้ แต่น้อยลงมากเมื่อผ่านความต่างศักย์ย้อนกลับ (ดูรูปที่ 4(ก)) ค่าสูงสุดของความส่องสว่าง ที่ได้เมื่อผ่านความต่างศักย์ให้ (ดูรูปที่ 4(ข)) และค่าความต่างศักย์ทำงานที่ต่ำเมื่อเริ่มให้ความส่องสว่างอย่างน้อย 100 cd/m^2 ซึ่งเพียงพอสำหรับการนำไปใช้เป็นจอแสดงผล แต่สำหรับการใช้เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างเช่น หลอดไฟ จะต้องใช้ความส่องสว่างเพิ่มมากขึ้นเป็น 1000 cd/m^2



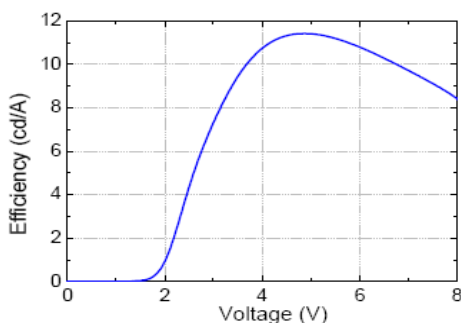
(ก)



(ข)



(ค)

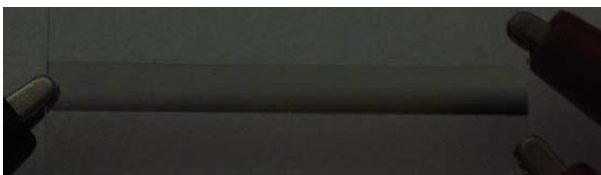


(ง)

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของอุปกรณ์ (ก) ความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ (ข) ความส่องสว่าง กับความต่างศักย์ (ค) ประสิทธิภาพกับความส่องสว่าง และ (ง) ประสิทธิภาพกับความต่างศักย์

สถาปัตยกรรมด้านโครงสร้างของ OLED

การวางเรียงชั้นฟิล์มใน OLED จะอ้างอิงกับขั้วสเตรต โดยให้ด้านขั้วสเตรตเป็นด้านล่าง การกำหนดทิศทางการเปล่งแสง จะยึดการอ้างอิงแบบเดียวกัน อุปกรณ์ในยุคต้นๆ จะเป็นอุปกรณ์เปล่งแสงทางด้านล่างผ่านแอโนดและขั้วสเตรตที่โปร่งแสง รูปที่ 5 แสดงตัวอย่าง OLED ที่เปล่งแสงทางด้านล่าง โดยใช้ กระจกเป็นขั้วสเตรต และITO เป็นแอโนด และอะลูมิเนียมเป็นแคโทด



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 5 OLED แบบเปล่งแสงผ่านขั้วสเตรตด้านล่าง (ก) ขณะปิด และขณะเปิด (ข) สีแดง (ค) สีเขียว (Alq_3) และ (ง) สีน้ำเงิน (ตัวอักษรภาษาญี่ปุ่นเป็นชื่อมหาวิทยาลัย Tokyo Polytechnic University)

ต่อมาได้มีการปรับใช้วัสดุโปร่งแสงเป็นชั้นแคโทดด้วย ทำให้อุปกรณ์เปล่งแสงสามารถให้แสงทั้งด้านบนและด้านล่าง เป็นอุปกรณ์เปล่งแสงแบบโปร่งใส (Transparent organic light-emitting device, TOLED) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) ซึ่งเมื่อยังไม่ทำงาน จะสามารถมองเห็นชั้นฟิล์มบางทั้งหมดทุกชั้นเห็นข้อความที่อยู่ทางด้านหลังของอุปกรณ์ได้ และเมื่อทำงานในรูปที่ 6 (ข) แสงที่เปล่งออกมาจะบังข้อความที่อยู่ทางด้านหลังไป TOLED มีข้อดีคือช่วยเพิ่มความต่างสี (contrast) ให้มากขึ้น ทำให้การแสดงผลในบริเวณที่มีแสงจ้าดีขึ้น เช่นการแสดงผลบนหน้าจาสวมหัวหรือบนเลนส์แว่นตา



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 อุปกรณ์เปล่งแสงสีเขียว (Alq₃) แบบ
โปร่งใส ขณะ (ก) ปิด และ (ข) เปิด

อุปกรณ์เปล่งแสงแบบซ้อนเป็นชั้นๆ (*Stacked OLED*) มีโครงสร้างที่นำเอาส่วนแสดงผลที่เป็นแม่สีแดง เขียว และสีน้ำเงิน มาซ้อนกันเป็นชั้น แทนการวางเรียงข้างๆ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในหลอดภาพแสดงผล และ จอแสดงผลแบบผลึกเหลว การวางโครงสร้างแบบเป็นชั้น ๆ ช่วยเพิ่มอำนาจการจำแนกอีกอย่างน้อยสามเท่า และ ยังช่วยการแสดงผลแบบสีเต็ม (full color) *OLED* แบบกลับโครงสร้าง (*Inverted OLED, IOLED*) เป็นโครงสร้างที่แตกต่างจาก *OLED* ปกติที่ให้แผ่นแอโนดอยู่บนชั้นสเตรต *IOLED* จะวางชั้นแคโทดบนชั้นสเตรตแทน เพื่อให้ต่อกับด้านสายเดรน (Drain) ของทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบางชนิดเอ็น (n-channel TFT) ทำให้สามารถ นำเอาซิลิกอนแบบอสัณฐานมาใช้เป็นระนาบหลังของทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบาง ที่ใช้ประกอบ การแสดงผล แบบแอกทีฟเมตริกซ์ได้ (*AMOLED*) ซึ่งช่วยลดราคาต่อหน่วยอุปกรณ์ลงได้

แนวโน้มการพัฒนาด้านขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง

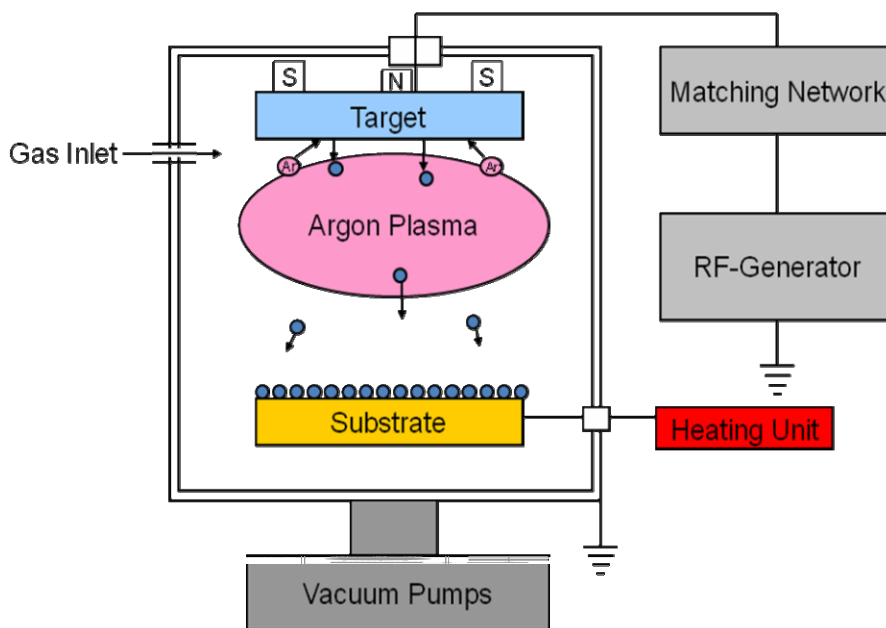
ออกไซด์ของอินเดียมที่เจือด้วยดีบุก (Tin-doped Indium Oxide, ITO) จัดเป็นวัสดุหลักที่ใช้ทำแอโนด เนื่องจากนำไฟฟ้าได้ดี มีสภาพต้านทานไฟฟ้า เพียง $10^{-4} \Omega\text{-cm}$ ขณะที่ยอมให้แสงส่องผ่านได้มากถึง 85% ITO มีค่าฟังก์ชันงานสูง ประมาณ 4.7 – 5.0 eV จึงช่วยเสริมการฉีดโฮลเข้าสู่ชั้นพอลิเมอร์ ITO เมื่อถูกเจือด้วย ซีเซียม จะมีค่าฟังก์ชันงานที่ลดลง สามารถที่จะนำไปเป็นชั้นแคโทด ช่วยให้อุปกรณ์ทั้งหมดเป็นอุปกรณ์โปร่งแสง (TOLED) การเคลือบฟิล์มบาง ITO ทำด้วยการสปัตเตอริง เมื่อต้องการใช้ ITO ชั้นแคโทดบนชั้นสเตรตที่มีชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสงเคลือบอยู่ อาจประสบปัญหาเรื่องการเสียสภาพของชั้นสารอินทรีย์ เมื่อใช้ระบบสปัตเตอริงที่มีเป้า ITO และชั้นสเตรตวางอยู่ตรงข้ามกัน อาจต้องมีปรับปรุงระบบไปใช้โครงสร้างแบบ facing target ที่ใช้เป้า ITO คู่วางตรงข้ามกัน แล้ววางชั้นสเตรตด้านข้างแทน

จากการประมาณการถึงมูลค่าการตลาดของอิเล็กทรอนิกส์โปร่งแสง ITO ในปัจจุบัน อยู่ที่แปดพันล้าน เหรียญ ขณะที่มูลค่าอิเล็กทรอนิกส์โปร่งแสงจากวัสดุอื่นอยู่ที่ 1.4 พันล้านเหรียญเท่านั้น เชื่อกันว่า ITO จะยังคงครอง ส่วนแบ่งหลักนี้ไปอีกอย่างน้อยประมาณ สิบปี คาดกันว่ามูลค่าการตลาดของ ITO จะอยู่ที่ 9.4 ล้านเหรียญในปี 2558 ทว่าปัญหาของอินเดียมที่มีราคาแพง และ ปริมาณแหล่งแร่สำรองที่มีจำกัด จึงเริ่มมองหาวัสดุทดแทน คุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์โปร่งแสงแทนได้แก่ มีสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสง

ใกล้เคียงหรือดีกว่า ITO มีเสถียรภาพที่ดี และต้องการการแอนนัลด้วยอุณหภูมิไม่สูงนัก ไม่เสียสภาพการทำงานเมื่อถูกโค้งงอ เพื่อให้รองรับการเคลือบบนซับสเตรตที่ยืดหยุ่นได้เช่นพลาสติกทึบร้อน ที่คงรูปเมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 200 °C เท่านั้น

ระบบเคลือบฟิล์มบางด้วยการสปัตเตอริงด้วยคลื่นความถี่วิทยุและระบบ magnetron

ระบบสปัตเตอริงทั้งหมดอยู่ภายในแชมเบอร์สุญญากาศ (Vacuum chamber) ซึ่งต่อกับเครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) เพื่อดูดอากาศภายในแชมเบอร์ออกสู่ภายนอก ภายในแชมเบอร์ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้ว คือ ขั้วคาโทด (Cathode) เป็นขั้วที่บรรจุวัสดุเป้า (Target) และ ขั้วแอโนด (Anode) เป็นขั้วที่ใช้สำหรับวางวัสดุฐานรอง (Substrate) ในระบบสปัตเตอริงทั่วไปนิยมต่อแอโนดลงกราวด์ร่วมกับแชมเบอร์สุญญากาศ และให้ศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ของคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Voltage) กับขั้วคาโทด รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างของระบบเคลือบฟิล์มบางด้วยการสปัตเตอริง



รูปที่ 7 โครงสร้างอย่างง่ายของอุปกรณ์เคลือบฟิล์มบางแบบสปัตเตอริงด้วยคลื่นความถี่วิทยุ และแมกนีตรอน

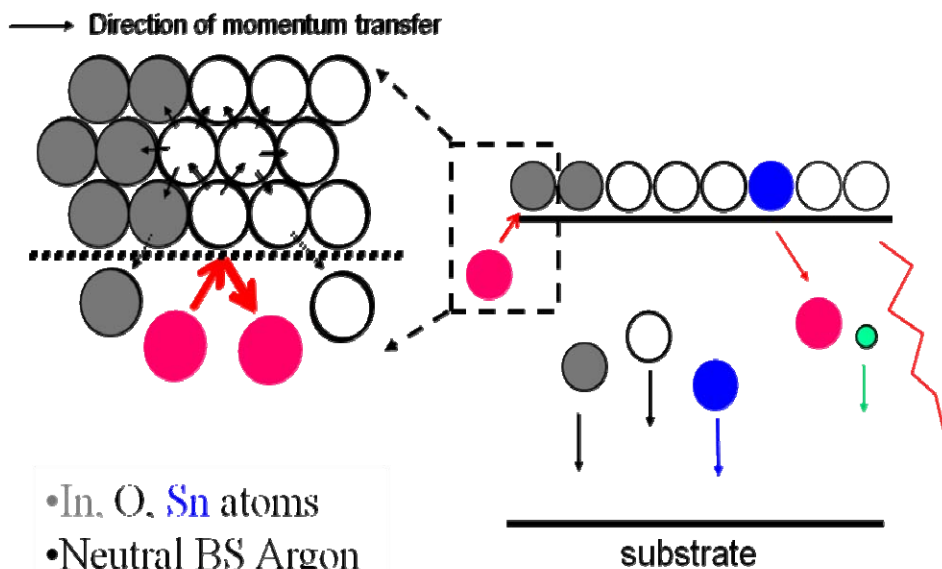
ก่อนการทำสปัตเตอริง จะต้องปั๊มอากาศภายในแชมเบอร์มีความดันน้อยๆ (Background pressure $\approx 10^{-5}$ Torr) จากนั้นปล่อยก๊าซเข้าไปในแชมเบอร์ ในที่นี้ใช้ก๊าซอาร์กอน (Ar) ตามความดันก๊าซที่ต้องการ (working pressure) แล้วเริ่มส่งผ่านกำลังของคลื่นวิทยุให้แก่ขั้วไฟฟ้า จะทำให้ก๊าซอาร์กอนเกิดกระบวนการดิสชาร์จ (Gas discharge) เกิดเป็นไอออนหรือพลาสมา (plasma) ขึ้นซึ่งจะถูกเร่งด้วยอิทธิพลของสนามไฟฟ้า โดยที่ไอออนบวกถูกเร่งเข้าสู่ขั้วคาโทด และ ไปชนกับเนื้อวัสดุเป้า ทำให้อะตอมหลุดออกมาเคลือบลงบนผิวของวัสดุฐานรองได้

ด้านหลังของขั้วคาโทดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้บรรจุแท่งแม่เหล็กถาวร (Permanent bar-magnets) ขนาดเล็ก ความเข้มสูง ที่ให้สนามแม่เหล็กในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ช่วยเพิ่มระยะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในพลาสมาให้มากขึ้น และจะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลาสมาให้สูงตาม ระบบนี้เป็นที่รู้จักกันว่า ระบบ RF magnetron sputtering

โดยทั่วไป ความหนาของฟิล์ม อัตราการเคลือบ และคุณลักษณะของฟิล์มที่เคลือบในระบบ RF magnetron sputtering สามารถควบคุมโดยการควบคุมองค์ประกอบ ดังเช่น

- ๑) กำลังของ แหล่งกำเนิด RF
- ๒) ความเข้มของพลาสมา ผ่านความดันของก๊าซอาร์กอน (working pressure)
- ๓) ระยะทางระหว่างคาโทด (วัสดุเป้า) และแอโนด (วัสดุฐานรอง)
- ๔) ควบคุมความดันเริ่ม (background pressure) ความดันเริ่มต้นที่ต่ำจะช่วยลดปริมาณสารมลทินที่อาจอยู่ในระบบ ได้ดีขึ้น

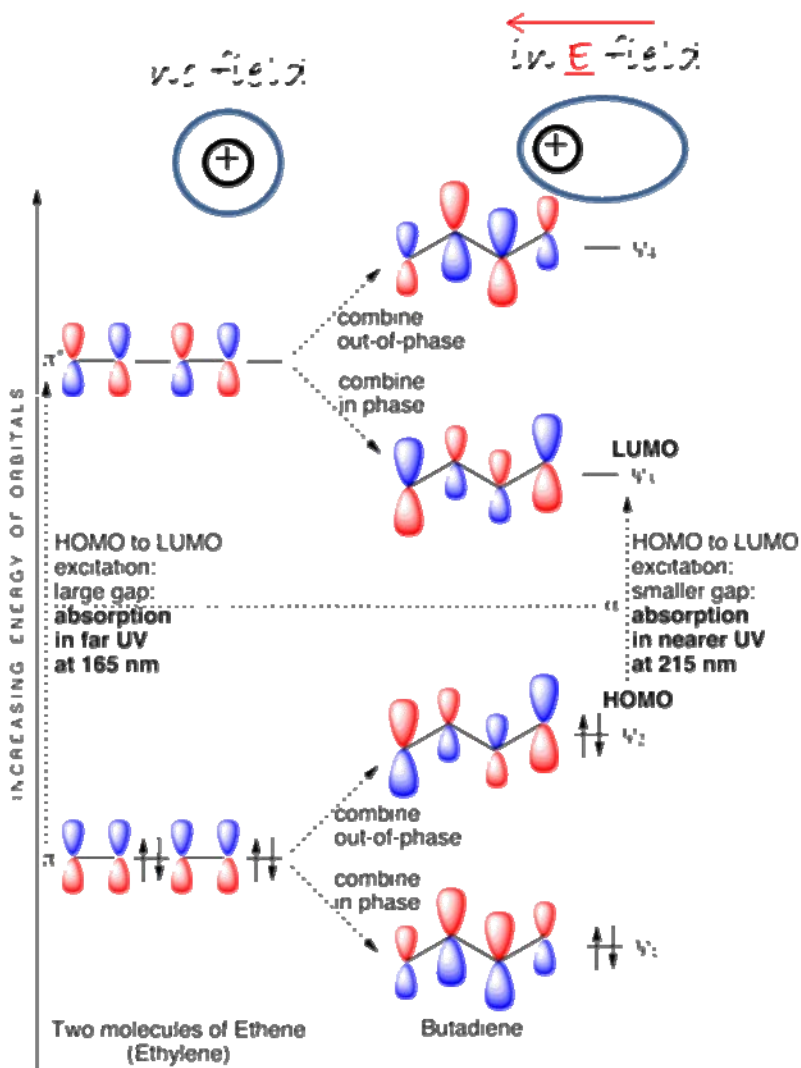
การสเปกโตรสโกปีนอกเหนือจากจะทำให้ธาตุหรือโมเลกุลของวัสดุเป้าหลุดออกมาแล้วยังเป็นที่ทราบกันดีว่ายังมีอนุภาคทุติยภูมิอื่น ๆ หลุดออกมาด้วย อนุภาคเหล่านี้หากมีประจุที่เหมาะสม มีพลังงานจลน์ มีระยะปลดการชนที่ยาวสามารถจะเคลื่อนที่ไปถึงวัสดุฐานรอง ที่มีอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงได้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเสียสภาพของฟิล์มที่เคลือบอยู่บนวัสดุฐานรองก่อนแล้ว รูปที่ 8 แสดงการเข้าชนของไอออนของอาร์กอนบนเป้าที่ทำจาก ITO และอะตอมหรืออนุภาคที่หลุดเนื่องจากการชน



รูปที่ 8 แบบจำลองของการชนกันแบบลูกบิลเลียดระหว่างไอออนของอาร์กอนและเป้า ITO และแสดงการเกิดสเปกโตรสโกปีจากเป้า ITO

- In, O, Sn atoms
- Neutral BS Argon
- 2nd electron
- radiation

อนุภาคหรือรังสีทุติยภูมิพลอยได้ที่เกิดการสปัตเตอร์ริง ได้แก่ อิเล็กตรอนทุติยภูมิ ออกซิเจน (กรณีที่ใช้การสปัตเตอร์ริงแบบใช้ก๊าซร่วม (reactive sputtering) หรือ การใช้ไอซ์ของโลหะ) วัสดุ เป็นที่ทราบกันดีว่าอนุภาคทุติยภูมิที่มีประจุเหล่านี้ จะสูญเสียพลังงานให้กับสารอินทรีย์ที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการรวมกันของโมเลกุลของสารอินทรีย์เป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น (dimerization and polymerization) การเชื่อมต่อข้ามแนวแกนหลัก (cross linking) การแตกเป็นส่วนย่อย (fragmentation) การเสียสภาพของสารอินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อโครงสร้างทางพลังงานของสารอินทรีย์ ทำให้สมบัติเชิงมหภาคของสารเหล่านี้เปลี่ยนไปเช่น แสงที่เปล่งออกมาเปลี่ยนสีไป ความเข้มของแสงลดน้อยลง การแปรสีของแสงที่เปล่ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของอุปกรณ์ การศึกษาโดยใช้ประกอบชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสง เข้าชั้นกับฟิล์มอื่นเป็นอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเปล่งแสงของอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลากหลายมากขึ้น เพิ่มความซับซ้อนให้กับการค้นหาสาเหตุให้มากยิ่งขึ้น เป็นการยากที่จะแยกแยะปัญหาด้านประสิทธิภาพที่เกิดจากสาเหตุใดแน่ การลดความซับซ้อนโดยเลือกศึกษาบนชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียว จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดตัวแปรที่เกี่ยวข้องลง ลดความซับซ้อนของปัญหา และในขณะเดียวกันเมื่อต้องการการศึกษาในเชิงลึกของแต่ละตัวแปร ก็จะสามารถทำได้ รูปที่ 9 แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากอันตรกิริยาของโฟตอนต่อวัสดุ เช่นการเกิดโพลาริเซชัน และการกระตุ้นให้โมเลกุลอยู่ในสถานะเร้า เป็นต้น



รูปที่ 9 อันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนกับวัสดุ

ระดับของการเสียสภาพของสารอินทรีย์ เมื่อถูกกระทำโดยอนุภาคหรือรังสีทุติยภูมิเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาค ทิศทางของการเข้าปะทะ โครงสร้างของสารอินทรีย์ ชนิดหรือพันธะหลักในสารอินทรีย์ เป็นต้น แม้จะมีการศึกษาผลของการเสียสภาพ แต่ละพารามิเตอร์ ที่ผ่านมา แต่ยังไม่มีการรวบรวมกันเข้าเป็นชิ้นเดียวกัน

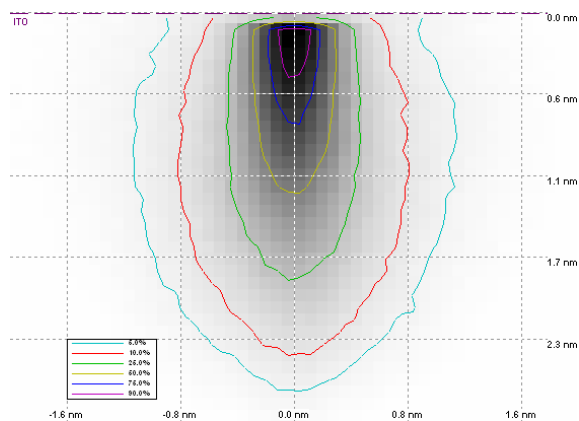
สารอินทรีย์เปล่งแสง *Tris(8-hydroxyquinoline) Aluminum*

ชนิดของสารอินทรีย์ที่เลือกศึกษา คือ *Tris(8-hydroxyquinoline) Aluminum* (Alq_3) และสูตรเคมีเป็น $\text{C}_{27}\text{H}_{18}\text{AlN}_3\text{O}_3$ มวลโมเลกุล 459.43 โดยมีจำนวนพันธะแต่ละชนิดในแต่ละโมเลกุลดังนี้ พันธะ C-H จำนวน 18 พันธะ พันธะ C-C จำนวน 15 พันธะ, พันธะ C=C จำนวน 12 พันธะ, พันธะ C-O จำนวน 3 พันธะ, พันธะ C-N จำนวน 3 พันธะ, พันธะ C=N จำนวน 3 พันธะ, พันธะ Al-O จำนวน 3 พันธะ, พันธะ Al-N จำนวน 3 พันธะ ที่มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 10

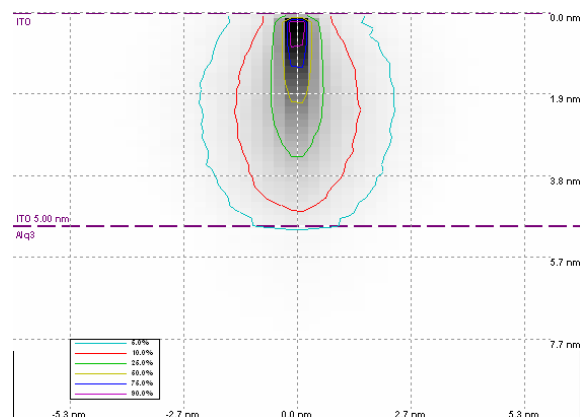
การจำลองอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่เลือกใช้ได้แก่โปรแกรม คาสโน CASINO: monte CARlo Simulation of electroN trajectory in sO lids (<http://www.gel.usherbrooke.ca/casino/>) ที่พัฒนาโดย Dr. Dominique Drouin แห่งมหาวิทยาลัย และมีจุดเริ่มต้นจากความสนใจในการเสถียรภาพของวัสดุสืบเนื่องจากการวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตัวแปรที่ใช้ในจำลอง ได้แก่

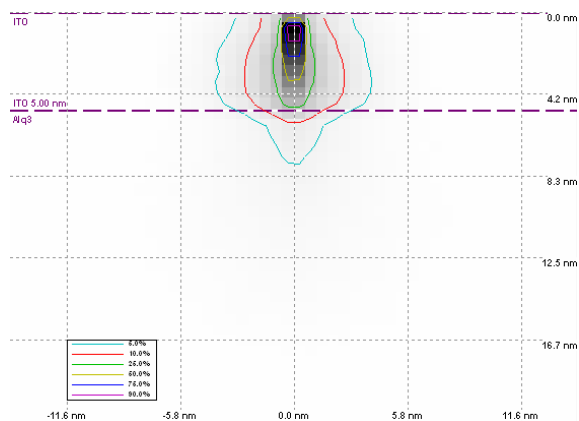
ค่าพื้นที่ภาคตัดขวางรวม เป็นแบบ Mott by Interpolation และ ภาคพื้นที่ตัดขวางย่อย เป็นแบบ Mott by Interpolation ค่าพลังงานกระตุ้นให้กลายเป็นไอออน และอัตราการสูญเสียพลังงานจำเพาะต่อหน่วยระยะทาง จากข้อมูลของ Joy and Luo (1989) กรณีศึกษาที่มีฟิล์ม ITO ความหนา 5 นาโนเมตร บนฟิล์มของ Alq₃ ความหนา 100 นาโนเมตร โดยแปรพลังงานของอิเล็กตรอนจาก 250 – 1000 eV เพิ่มทีละ 250 eV และ ลำอิเล็กตรอนแบบเข็มขนาดเล็ก (Pencil Beam) โดยให้ความสนใจ ถึงการกระจายของอิเล็กตรอนที่ระยะลึกจากผิวหน้าของชิ้นงานต่าง ๆ และ พลังงานของอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งเหล่านั้น รูปที่ 11 แสดงผลที่ได้จากการจำลองจากรูปจะเห็นได้ว่า อิเล็กตรอนที่พลังงานน้อยกว่า 250 eV ไม่สามารถทะลุผ่าน ฟิล์มของ ITO ความหนา 5 นาโนเมตรเพื่อเข้าไปถึงฟิล์มของ Alq₃ ได้ ขณะที่ อิเล็กตรอนพลังงานเริ่มต้น 500 eV สามารถทะลุผ่านฟิล์มของ ITO ที่เคลือบอยู่ข้างบน ลงไปถึงฟิล์มของ Alq₃ ได้ แม้ว่าพลังงานที่เข้ากระทบชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เรืองแสงจะเหลือเพียง 5% ของพลังงานเริ่มต้น หรือ 25 eV เท่านั้น ที่พลังงานสูงขึ้นกว่า 500 eV อิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านจะมีพลังงานเหลือมากขึ้น และสามารถเคลื่อนเข้าไปในเนื้อฟิล์มของ Alq₃ ได้ มากขึ้น จึงคาดเดาได้ว่าการเสถียรภาพของสารอินทรีย์เรืองแสง Alq₃ จะสูงตามไปด้วย



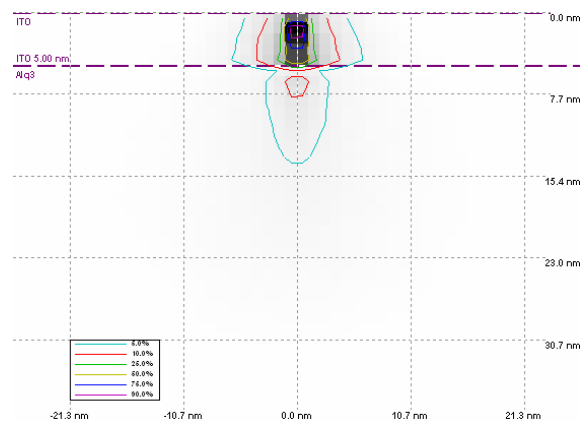
250 eV



500 eV



750 eV



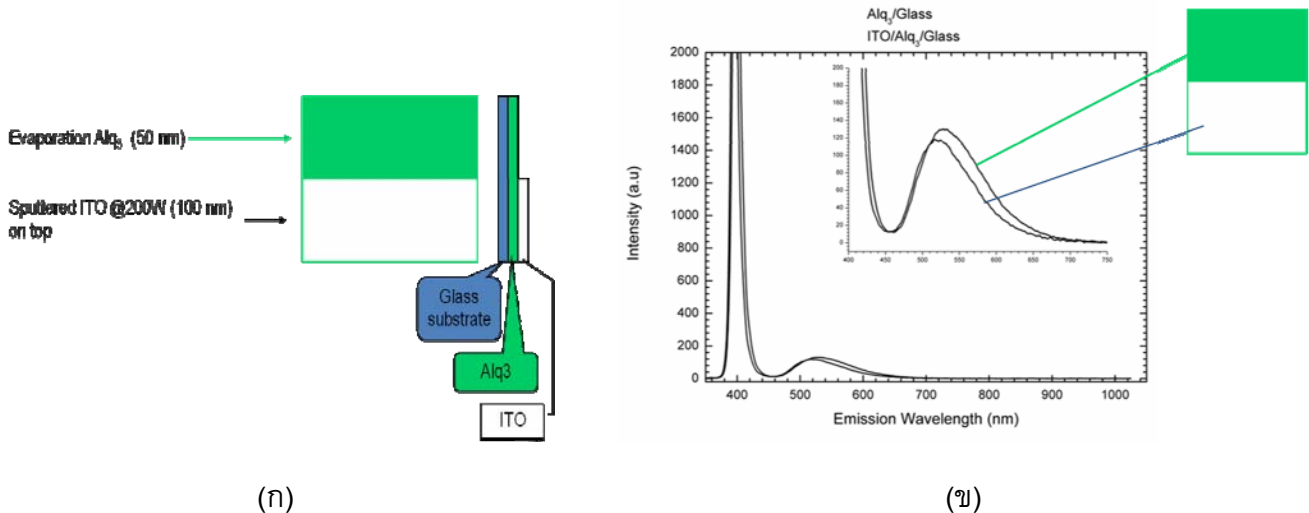
1000 eV

รูปที่ 11 แสดงโปรไฟล์ของอิเล็กตรอนในสองมิติที่ระยะความลึกและความกว้าง จาก ผิวหน้าของชั้นงาน เส้นประสีม่วงในแนวนอนแทนรอยต่อระหว่าง ชั้นอิเล็กโตรดโปร่งแสง เส้นขอบรอบโปรไฟล์ในแต่ละรูปนั้น เป็นเส้นเชื่อมแนวที่อิเล็กตรอนมีพลังงานเท่ากัน โปรดสังเกตว่า สเกลของแต่ละภาพแตกต่างกัน

การทดสอบการเสถียรภาพของ Alq_3 จากเคลือบฟิล์มของ ITO บนฟิล์ม Alq_3

ในการทดลองเพื่อทดสอบการเสถียรภาพของ Alq_3 ได้เตรียมฟิล์มของ Alq_3 ที่มีความหนา 50 นาโนเมตรโดย อาศัยกระบวนการระเหิด (evaporation) บนชั้นงานที่เป็นกระจก จากนั้นครึ่งล่างของชั้นงานถูกเคลือบทับด้วย ฟิล์มของ ITO ด้วยกระบวนการสปัตเตอร์ริง ที่กำลังขาเข้า เป็น 200W กระทั่งมีความหนา 100 nm ดังรูปที่ 12 (ก) ฟิล์มของ Alq_3 ที่มีและไม่มี ฟิล์มของ ITO เคลือบ ถูกนำไปวิเคราะห์ การเรืองแสง จากการกระตุ้นด้วยโฟตอนความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร (photoluminescence) และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ ได้เตรียมชั้นงานอีก เจือปนหนึ่ง โดยเคลือบฟิล์มบางของ ITO ด้วยกระบวนการสปัตเตอร์ริง ที่กำลังขาเข้า เป็น 50W ก่อนกระทั่งได้

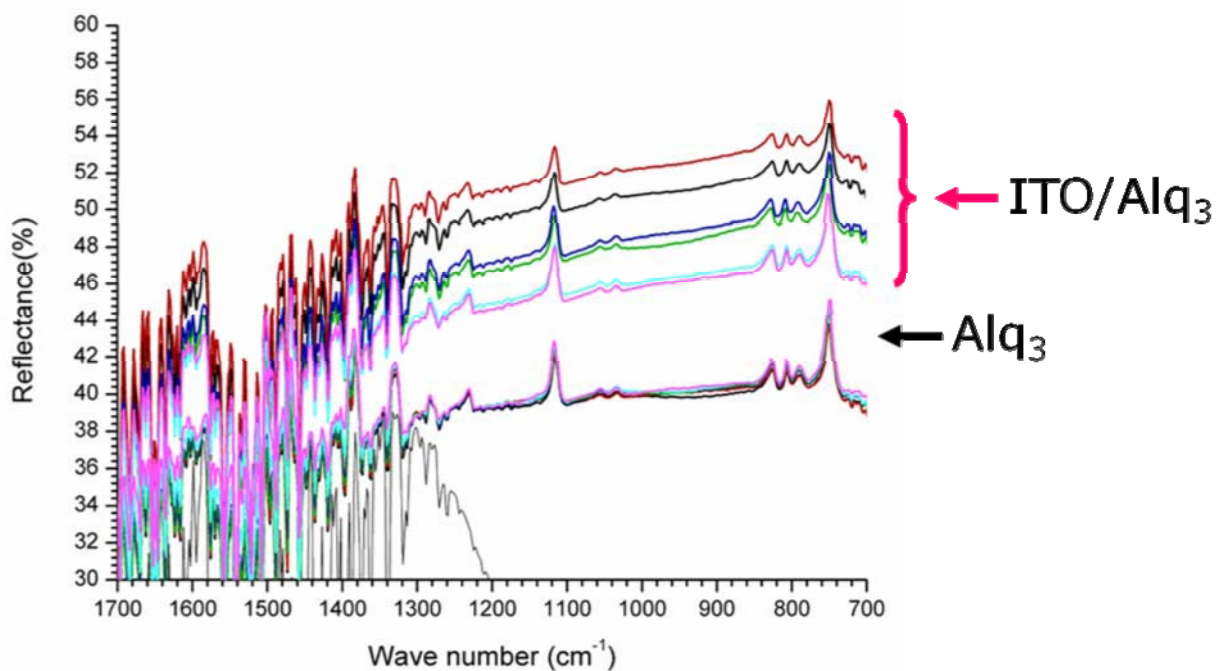
ความหนาเป็น 4 นาโนเมตร แล้วจึงเคลือบซ้ำด้วย ITO ด้วยกระบวนการสเปตเตอร์ริง ที่กำลังขาเข้า เป็น 200W จนกระทั่งได้ความหนา 100 nm เท่ากับในเงื่อนไขที่หนึ่ง



รูปที่ 12 (ก) แสดงชั้นงานที่เคลือบด้วยฟิล์มของ Alq_3 และส่วนที่ถูกเคลือบทับด้วย ITO (ข) แสดงสเปกตรัมการเปล่งแสงของ Alq_3 จากส่วนที่ไม่ถูกเคลือบทับ และส่วนที่ถูกเคลือบทับด้วย ITO

ผลการทดลองวัดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เปรียบเทียบการเรืองแสงของ Alq_3 ที่ถูกฟิล์มของ ITO เคลือบทับ และ ไม่ถูกเคลือบทับ พบว่า ความเข้มของการเรืองแสงมีค่าลดลง พร้อมกับการเลื่อนของพีค หรือความยาวคลื่นที่ถูกปล่อยออกมามากที่สุด ด้วย สำหรับฟิล์มของ Alq_3 ที่เตรียมด้วยเงื่อนไขที่สองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยยะระหว่างฟิล์มถูกฟิล์มของ ITO เคลือบทับ และ ไม่ถูกเคลือบทับ จึงอนุมานได้ว่า การเสียสภาพเกิดมาบริเวณผิวรอยต่อและเกิดจากอนุภาคพลังงานสูงเช่น อิเล็กตรอน หรือไอออน พลังงานสูง เป็นสำคัญ การสเปตเตอร์ฟิล์มของ ITO ที่กำลังขาเข้า เป็น 50W ต่ำลง เป็นชั้นบาง ๆ ก่อน เพื่อลดทอนพลังงานของอนุภาคที่ไปตกกระทบบนฟิล์มของ Alq_3 โดยตรงลง มีส่วนช่วยลดการเสียสภาพของฟิล์มของสารอินทรีย์เรืองแสง ได้ทางหนึ่ง

เมื่อนำชั้นงานนี้ไปวิเคราะห์ด้วย FTIR แบบสะท้อน ดังแสดงใน รูปที่ 13 ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะระหว่างฟิล์มของ Alq_3 ที่มีฟิล์มของ ITO เคลือบทับ และ ไม่ถูกเคลือบทับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากโมเลกุลของ Alq_3 บางส่วนเกิดการเชื่อมติดกันเป็นกลุ่มโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น หรือมีการสร้างเครือข่ายหรือเส้นทางการคลายตัว (relaxation) อื่น ที่ไม่ก่อให้เกิดการเรืองแสง ขึ้นมาแทน



รูปที่ 13 สเปกตรัม FTIR แบบสะท้อนกลับของฟิล์ม Alq3 ที่มีและไม่มี ITO เคลือบทับ

บทสรุป

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาผลกระทบของอนุภาคชนิดต่าง ๆ ที่ปรากฏในระหว่างการเคลือบฟิล์มของ ITO บนชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เรืองแสง Alq3 พบว่าความเข้มของแสงที่เรืองออกมาจากสารอินทรีย์เรืองแสงน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่มี ITO เคลือบทับ แสดงว่าเกิดการเสียสภาพของชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เรืองแสงอันเนื่องมาจาก ITO ที่เคลือบทับ

การเสียสภาพดังกล่าวอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน HOMO และ LUMO อาจเกิดการเชื่อมต่อระหว่างสองระดับพลังงานทำให้อิเล็กตรอนสามารถคลายตัว จาก ชั้น LUMO สู่ชั้น HOMO โดยไม่คายแสงออกมา การเสียสภาพดังกล่าวเกิดขึ้น อาจจะไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพันธะในโมเลกุล เนื่องจากไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ด้วย FTIR

การเสียสภาพดังกล่าว มีความสัมพันธ์กับพลังงานของอิเล็กตรอนที่เข้ามาตกกระทบ อิเล็กตรอนพลังงานสูงขึ้นไปจะสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในชั้นของสารอินทรีย์ได้ลึกขึ้น การเคลือบฟิล์มบาง ทำที่พลังงานต่ำ ปกป้องก่อน (ประมาณ สี่ห้า นาโนเมตร) เพื่อลดพลังงานของอนุภาคที่เข้าปะทะโดยตรงกับฟิล์มสารเรืองแสงต่ำลงก่อนก่อนที่จะเคลือบฟิล์มปกติ ที่พลังงานปกติ ตาม จะช่วยลดการเสียสภาพของฟิล์มสารอินทรีย์เรืองแสงลง ได้

เมื่อจำลองความสามารถของอิเล็กตรอนในการทะลุทะลวงผ่านชั้นฟิล์มปกป้อง เข้ากระทบและสร้างความเสียหาย ต่อชั้นสารอินทรีย์เรืองแสง Alq3 โดยเปลี่ยนแปลงพลังงานของอิเล็กตรอน ตั้งแต่ 250 – 1000

อิเล็กทรอนิกส์ พบว่าอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพลังงานสูงกว่า 500 eV ถึงจะสามารถทะลุทะลวงผ่านชั้นปกป้องที่มีความหนา ห้านาโนเมตร เข้าไปได้

เอกสารอ้างอิง

1. Antoniadis H, *OVERVIEW of OLED Display Technology*, <http://www.ewh.ieee.org/soc/cpmt/presentations/cpmt0401a.pdf>, 2003.
2. Aukkaravittayapun A. Toward Wet Route Coating for Flexible TC films: General Review, 5th International Symposium of Center for Hyper Media Research, October 11, 2008, Tokyo, Japan.
3. Bassler H, Hadziioannou G, van Hutten PF, editors. *Semiconducting polymers: chemistry, physics and engineering*. Germany: Wiley-VCH; 2000.
4. Bernanose A, Comte M, Vouaux P. A *NEW METHOD OF EMISSION* of light by certain organic compounds, *Journal of Chemical Physics* 1953;50:64-8.
5. Burroughes JH, Bradley DDC, Brown AR, Marks RN, Mackay K, Friend RH, et al. Light-emitting diodes based on conjugated polymers, *Nature* 1990;347:539-41.
6. Dangtip S Hoshi Y, Kasahara K, Onai Y, Osotchan T, Sawada Y, Uchida T. Study of Low Power Deposition of ITO for Top Emission OLED with Facing Target and RF sputtering Systems, *Journal of Physics: Conference Series* 2008;100:042011(1-6).
7. Gustafsson G, Cao Y, Treacy GM, Klavetter F, Colaneri N, Heeger AJ. Flexible light-emitting diodes made from soluble conducting polymers. *Nature*. 1992 Jun;357:477-9.
8. Helfrich W, Schneider WG. Recombination radiation in anthracene crystals. *Phys. Rev. Lett.* 1965;140:229-31
9. Lee JH, Wu MH, Chao CC, Chen HL, Leung MK. High efficiency and long lifetime OLED based on a metal-doped electron transport layer. *Chem. Phys. Lett.* 2005 Dec; 416(4-5):234-7
10. Organic light emitting diode, http://en.wikipedia.org/wiki/Organic_light-emitting_diode.
11. Tang CW, VanSlyke SA. Organic electroluminescent diodes. *Appl. Phys. Lett.* 1987 Sep;51(12):913-5.
12. Uchida T, Mimura T, Ohtsuka M, Otomo T, Ide M, Shida, Sawada Y. Cesium-incorporated indium-tin-oxide films for use as a cathode with low work function for a transparent organic light-emitting device. *Thin Solid Films*. 2006 Feb; 496:75-80.
13. Vincett PS, Barlow WA, Hann RA, Roberts GG. Electrical conduction and low voltage blue electroluminescence in vacuum-deposited organic films. *Thin Solid Films*. 1982;94:171-83.
14. Walzer K, Maennig B, Pfeiffer M, Leo K. Highly efficient organic devices based on electrically doped transport layers. *Chem. Rev.* 2007; 107:1233-71.
15. Tang C W and VanSlyke S A 1987 *Appl. Phys. Lett.* **51** 913
16. Pfeiffer M, Forrest S R, Zhou X and Leo K 2003 *Organics Electronics* **4** 21
17. Dobbertin T, Kroeger M, Heithecker D, Schneider D, Metzdorf D, Neuner H, Becker E, Johannes H H and Kowalsky W 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 284
18. Uchida T, Mimura T, Ohtsuka M, Otomo T, Ide M, Shida A and Sawada Y 2006 *Thin Solid Films* **496** 75
19. Gu G, Parthasarathy G, Burrows P E, Tian P, Hill I G, Kahn A and Forrest S R 1999 *J. Appl. Phys.* **86** 4067
20. Kim H K, Kim D G, Lee K S, Huh M S, Jeong S H, Kim K I and Seong T Y 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 183503
21. Kim H K, Kim S W, Lee K S and Kim K H 2006 *Appl. Phys. Lett.* **88** 083513
22. Matsushita N, Noma K, Nakagawa S and Naoe M 1998 *Vacuum* **51** 543
23. Carcia P F, McLean R S, Reilly M H, Pillione L J and Messier R F 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 1800
24. Naoe M, Yamanaka S and Hoshi Y 1980 *IEEE Trans. Magn.* **28** 646
25. Hoshi Y, Kato H and Funatsu K 2003 *Thin Solid Films* **445** 245
26. Yamamoto H, Oyamada T, Hale W, Aoshima S, Sasabe H and Adachi C 2006 *Jpn. J. Appl. Phys.* **45** L213