



## รายงานการวิจัย

### การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนรวมถึง อุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบ

Research and Development on Flexible Electronic Devices  
including Organic Light Emitting Display and Their Materials

ผศ. ดร.ชนากร โอสถจันทร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ผศ. ดร.ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ

ผศ. ดร.เต็มศักดิ์ ศรีศิริรินทร์

ผศ. ดร. สมศักดิ์ แดงดี

ผศ. ดร.รักษชาติ ไตรผล มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผศ. ดร.วินิช พรหมอารักษ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ดร.สมบุญ สหสิทธิ์วัฒน์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

Prof. Y. Sawada Tokyo Polytechnic

Prof. T. Uchida University, Atsugi,

Prof. T. Satoh Kanagawa, Japan

Prof. Y. Hoshi

Prof. S. Kobayashi

Prof. M. Ohtsuka

Prof. T. Nishide

Dr. S. Seki

Prof. Y. Nishimoto Kanagawa University

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปีที่พิมพ์ พ.ศ. 2557

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนรวมถึงอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทโครงการความร่วมมือกับต่างประเทศ จาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยเป็นความร่วมมือระหว่างไทย-ญี่ปุ่น ประจำปี 2549-2551 และ 2553-2554

## บทคัดย่อ

### สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ส่วนที่ 1 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ

การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนรวมถึงอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบ

Research and Development on Flexible Electronic Devices including Organic Light Emitting Display and Their Materials

ชื่อผู้วิจัย

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร โอสนาจันทร์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เต็มศักดิ์ ศรีศิริรินทร์
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ แดงดีบ

หน่วยสร้างเสริมศักยภาพทางนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รักษชาติ ไตรผล  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินิช พรหมอารักษ์  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ดร.สมบุญ สหสิทธิวัฒน์  
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ฝ่ายต่างประเทศ

- Prof. Y. Sawada (Ph.D)
- Prof. T. Uchida (Ph.D)
- Prof. M. Ohtsuka (Ph.D)
- Prof. Y. Hoshi (Ph.D)
- Prof. S. Kobayashi (Ph.D)
- Prof. T. Satoh (Ph.D)
- Prof. Y. Nishimoto (Ph.D) (Kanagawa University)
- Prof. T. Nishide (Ph.D)
- S. Seki (Ph.D)

Tokyo Polytechnic University, 1583 Iiyama, Atsugi, Kanagawa, Japan

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทโครงการความร่วมมือกับต่างประเทศ ประจำปี 2549-2551 และ 2553-2554

จำนวนเงิน 500,000 บาท สำหรับ ปี 2553-2554

ระยะเวลาทำการวิจัย 3 ปี ระหว่าง 2549-2551 และ 2553-2554

## ส่วนที่ 2 บทคัดย่อ

โครงการความร่วมมือระหว่างนักวิจัยไทย-ญี่ปุ่นที่ผ่านมากกว่าสามปี ทางด้านการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนรวมถึงอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบ ทำให้คณะนักวิจัยได้เรียนรู้และซึมซับ ความเข้มแข็งของการสนับสนุนซึ่งกันและกัน ระหว่างหน่วยงานวิจัยในภาคการศึกษาที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิทยาการที่ต่างกัน และกลุ่มผู้พัฒนาและใช้เทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน และอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์ เป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่มีกระบวนการผลิตแตกต่างจากเทคโนโลยีการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซิลิกอนแบบดั้งเดิม อุตสาหกรรมการผลิตจึงต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ ประสบการณ์ เทคนิคการผลิต ที่มีการพัฒนาทั้งในหน่วยงานวิจัย หน่วยการผลิต และการตลาด กระบวนการเหล่านี้ยังเป็นจุดด้อยที่สำคัญในการพัฒนางานวิจัยในประเทศไทย ซึ่งจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีความพร้อมของการพัฒนาที่ประสบความสำเร็จ แล้วมีความเชื่อมโยงกันระหว่างกลุ่มวิจัยและภาคอุตสาหกรรม ที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนในกลุ่มวิจัยญี่ปุ่นในระหว่างการดำเนินโครงการ

โครงการความร่วมมือระหว่างนักวิจัยไทย-ญี่ปุ่น ทางด้านการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนรวมถึงอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบ ได้ครอบคลุมการวิจัยในส่วนการพัฒนาการเคลือบชั้นฟิล์มโปร่งใสไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาเทคนิคการเคลือบที่ไม่ทำลายชั้นสารอินทรีย์หรือแผ่นฐานรองชนิดอ่อน ซึ่งทำให้สามารถประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่โค้งงอได้ มีการพัฒนาออกแบบวัสดุใหม่ด้วยการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ มีการพัฒนาการสังเคราะห์สารอินทรีย์ทั้งในกลุ่มพอลิเมอร์และสารประกอบโลหะอินทรีย์ มีการวิจัยตรวจวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติสารและชั้นฟิล์ม มีการพัฒนาการประดิษฐ์อุปกรณ์ให้เป็นอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์บนแผ่นฐานรองชนิดอ่อนและแบบมอโนเลเยอร์ ตลอดจนได้พัฒนาต่อยอดไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ อุปกรณ์แปลงแสงสารผสมอินทรีย์และอนินทรีย์ อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ฟิลด์เอฟเฟคสารอินทรีย์ และอุปกรณ์เซลล์เปลี่ยนสีด้วยไฟฟ้า

โครงการความร่วมมือระหว่างนักวิจัยไทย-ญี่ปุ่นนี้ ได้เปิดโลกทัศน์ให้นักวิจัยสามารถมองเห็นมุมมอง สำคัญ ทิศทาง เป้าหมาย และกระบวนการทางความคิดในการดำเนินงานวิจัย ทั้งในแง่มุมมองของนักวิจัย อุตสาหกรรม และ สังคม งานวิจัยในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน โดยเฉพาะอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบได้แสดงให้เห็นถึง กระบวนการพัฒนาวัสดุต้นแบบ ตลอดไปจนถึงการนำไปประกอบเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตจอแสดงผลในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ซึ่งการวิจัยมีผลกระทบโดยตรงต่ออุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และความต้องการของอุตสาหกรรมเองก็ส่งผลกลับมาสู่การวิจัยด้วย นอกจากนี้กิจกรรมของโครงการวิจัยในช่วงท้ายนี้ ยังได้กระตุ้นให้ภาคอุตสาหกรรมการพิมพ์ในประเทศไทยได้ตระหนักถึงการก้าวกระโดดของเทคโนโลยีการพิมพ์ จากยุคการพิมพ์แบบสกรีนเข้าสู่ยุคการประยุกต์ใช้การพิมพ์ในการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนสิ่งพิมพ์

ความสำเร็จของโครงการความร่วมมือระหว่างนักวิจัยไทย-ญี่ปุ่น ในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีแผ่นฐานรองชนิดอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งประดิษฐ์อินทรีย์เปล่งแสง (OLED)

สามารถแสดงได้จากความร่วมมือกันจัดประชุมสัมมนาเชิงวิชาการอย่างต่อเนื่องถึงสิบเอ็ดครั้ง ทั้งในประเทศไทย และญี่ปุ่น ได้ร่วมกันเขียนผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติที่มีการอ้างอิงได้ถึงสามเรื่องโดยมีผู้เขียนทั้งนักวิจัยไทยและนักวิจัยญี่ปุ่นร่วมกัน

ได้มีนักวิจัยญี่ปุ่นจำนวนเพิ่มขึ้น มาร่วมปรึกษาหารือหัวข้อวิจัย และร่วมในการประชุมสัมมนาวิชาการในประเทศไทย โดยได้เพิ่มจากสองคนเป็นสามและห้าคนในปีพ.ศ. 2549 2550 และ 2551 ตามลำดับ สถานที่จัดการประชุมก็ได้เวียนไปจัดตามหน่วยงานวิจัยในโครงการสังกัดอยู่ทั่วประเทศ ทั้งที่มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยนเรศวร ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี การเปลี่ยนสถานที่ปรึกษาหารือและให้สัมมนานี้ ทำให้นักวิจัยญี่ปุ่นได้มีความเข้าใจ และทราบถึงศักยภาพการวิจัย ทางด้านอุปกรณ์อินทรีย์อิเล็กทรอนิกส์ ในประเทศ อีกทั้งนักวิจัยและนักศึกษาตามหน่วยงานต่าง ๆ จะได้เข้าถึงกลุ่มนักวิจัยชาวญี่ปุ่นนี้ ทำให้ได้ปรึกษาหารือกัน หัวข้อวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

ในปีพ.ศ. 2554 นักวิจัยญี่ปุ่นในโครงการได้เป็นตัวแทนจากสมาคมการพิมพ์ในญี่ปุ่นมาบรรยายในการประชุมของสมาคมอุตสาหกรรมการค้าวัสดุอุปกรณ์การพิมพ์ไทย จะเห็นได้ว่าความสำเร็จของโครงการวิจัยนี้ไม่ได้มีประโยชน์แต่เฉพาะโดยตรงต่อนักวิจัยไทย ญี่ปุ่น หากแต่ยังสามารถสร้างผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรมการผลิตด้วย

นักวิจัยไทยได้มีโอกาสทำการวิจัยในห้องปฏิบัติการที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นช่วงระยะเวลาานมากพอที่สามารถเกิดกระบวนการเรียนรู้ เกิดความสนิสนมส่วนตัวมากยิ่งขึ้น ทำให้ได้เรียนรู้หาประสบการณ์ เทคนิคในการทำงานวิจัย ทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แผ่นฐานรองที่งอได้นี้ โดยเฉพาะการประดิษฐ์โครงสร้าง OLED มีนักวิจัยสามท่านจาก มหาวิทยาลัยมหิดล ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ดำเนินการวิจัยที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นเวลาหลายเดือน ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าในช่วงปีนั้นจะมีนักวิจัยไทยจำนวนไม่มากได้มีโอกาสไปทำการทดลองในประเทศญี่ปุ่น แต่การที่แต่ละคนได้มีโอกาสทำการวิจัยเป็นเวลานานทำให้สามารถเรียนรู้เทคนิคและดำเนินการวิจัยตลอดกระบวนการ และสามารถเขียนผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติได้

ในขณะที่นักวิจัยไทยได้ทำการวิจัยในประเทศญี่ปุ่นนั้น ทางนักวิจัยญี่ปุ่น ได้จัดให้มีการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ ที่มุ่งเป้าให้พันธมิตรทางอุตสาหกรรม และนักศึกษาวิจัยชาวญี่ปุ่น เข้าร่วมและนำเสนอในการประชุมด้วย ทำให้นักวิจัยในโครงการสามารถขยายขอบเขตความสัมพันธ์บรรลุวัตถุประสงค์ไปยังกลุ่มคนที่กว้างขวางมากขึ้น ทำให้นักวิจัยไทยได้เข้าใจกลไกความร่วมมือของบริษัทพันธมิตรทางอุตสาหกรรม กับนักวิจัยในสถาบันศึกษามากขึ้น อีกทั้งการให้นักศึกษาญี่ปุ่นเข้าร่วมนำเสนอทำให้นักศึกษาญี่ปุ่นที่ทำการวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้อง ได้รายงานผลการทดลองในที่ประชุมนานาชาติ ซึ่งเป็นการสร้างประสบการณ์ในระดับนานาชาติ แก่นักศึกษาที่เข้าร่วมด้วย

ความก้าวหน้าทางวิชาการที่สำคัญที่ประสบความสำเร็จ ในโครงการความร่วมมือไทย- ญี่ปุ่น นี้ คือ การพัฒนาให้อุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์เตรียมได้บนแผ่นฐานรองที่งอได้ ซึ่งเกิดขึ้นได้จริง จากความสามารถในการพัฒนาเทคนิคการเคลือบปิดอุปกรณ์ ด้วยการพอลิเมอร์ไรซ์ด้วยแสงเหนือม่วง

การเตรียมขั้วไฟฟ้าเปล่งแสงที่ไม่ทำลายชั้นสารอินทรีย์ ทั้งในขั้วไฟฟ้าด้านบน และด้านล่าง และเทคนิคการเตรียมสิ่งประดิษฐ์บนแผ่นรองพอลิเมอร์ที่เคลือบด้วยขั้วไฟฟ้าที่โปร่งแสง อีกทั้งได้มีการนำคอนจูเกตพอลิเมอร์หลายชนิดที่สังเคราะห์ได้โดยนักวิจัยไทย ไปใช้ในโครงสร้าง OLED ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการที่ประเทศญี่ปุ่นด้วย

การแลกเปลี่ยนและการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในโครงการนี้ ทำให้ไม่เพียงแต่เกิดการพัฒนาด้านการวิจัย การเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานรองที่งอได้ แต่ยังเกิดความเข้าใจที่ดีขึ้นทั้งในด้านการกิจกรรมวิจัย และวัฒนธรรมของทั้งสองประเทศ ความร่วมมือที่สำเร็จนี้ทำให้เกิดความเข้าใจที่เหนียวแน่นระหว่างกลุ่มนักวิจัยไทยและญี่ปุ่น สามารถสานต่อเพื่อพัฒนาอุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้องได้ต่อไป โดยที่กลุ่มนักวิจัยที่ร่วมในโครงการนี้มาจากหลายหน่วยงาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีการขยายความร่วมมือนี้ ออกไปยังกลุ่มต่าง ๆ ในแต่ละประเทศ ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมวิจัยโดยรวมได้

ด้วยความร่วมมือเป็นอย่างดีในระยะเวลามากกว่าสามปีที่ผ่านมา นักวิจัยไทยและญี่ปุ่นได้มีความเข้าใจกันทั้งทางด้านความเชี่ยวชาญเชิงเทคนิค วิชาการ ทรัพยากร เครื่องมือ และบุคลากร ทำให้กลุ่มนักวิจัยสามารถดำเนินความร่วมมือกันต่อไปได้ และสามารถขยายขอบข่ายความร่วมมือไปยังกลุ่มต่าง ๆ ในทั้งสองประเทศนี้ได้ดังจะเห็นได้จากความร่วมมือกับกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นด้านการคำนวณ และการสร้างความตระหนักของเทคโนโลยีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ให้แก่กลุ่มอุตสาหกรรมการพิมพ์ในประเทศไทย

## คำสำคัญ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน อุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์ วัสดุอิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ พลาสติกอิเล็กทรอนิกส์

## Abstract

The three years of corporation joint research between Thai and Japanese researchers in developing the flexible electronics devices especially organic light emitting display and their materials enable the researchers to understand and appreciate the strengthen of supporting each other between interdisciplinary researchers in academic sections and technology user and development in industrial parts. The technology in flexible electronics devices and organic light emitting display are new technology which is totally different from the conventional silicon electronic device fabrication technology. The industrial production strongly depends on the knowledge, understanding, experience and technique developed in research units, production house and marketing. The research in Thailand lacks this process which plays the crucial role in research development. It is necessary to have the success research-development case in order to initiate the mutual trust amount researchers and industrial group. The self support can be observed in Japanese researchers during the conducting this cooperative research project.

The corporation joint research between Thai and Japanese researchers in developing the flexible electronics devices especially organic light emitting display and their materials includes the research on the development of transparent electrode coating especially for non-destructive to underneath organic or flexible substrate layer, in which can be applied for flexible electronic devices. In addition, there are researches and developments on the material design by computer calculation, synthesis of organic material for polymer and metal complex compound groups, characterization of material and thin films. At the beginning of the project, the development is focused on fabricating the organic light emitting display devices on flexible substrate and for transparent devices. Later years, other devices with similar technology are developed including electro-luminescence device with hybrid organic and inorganic materials, organic field effect transistors and electro-chromic devices.

This corporative research project between Japan and Thai can open up the researcher perspectives to be able to visualize the various points of view, major subject contents, research direction and goal, and thinking process in conducting the particular research. These are not only in the researcher point of view but also in the view point of related industry and society. The corporation joint research in developing the flexible electronics devices especially organic light emitting display and their materials indicates the whole development process beginning with material and prototype development till the part of display device in mobile telephone product. This research and development has the direct impact to the electronic

device production industry while the competition ability of industrial affects to the research direction as well. In addition for the last year activity, this project is also able to excite the Thai printing industry to be aware of the incoming technology of electronic printing beside present technology of smart printing.

The success of the corporation between Thai and Japanese researchers in developing the flexible electronics devices especially organic light emitting devices (OLED) can be demonstrated from the organizing eleven consequently international conferences both in Thailand and Japan together with three international journal publications with coauthor from both Thai and Japanese researchers. The number of Japanese professors came to visit and discuss on the related researches was increase from two researchers in year 2006 to three and six people in year 2007 and 2008, respectively. The locations of discussions and conferences in Thailand were also moved through among the participated research organizers including Mahidol University, Naresuan University, National Metals and Material Technology (MTEC) and Ubon Rachathani University. This allowed Japanese researcher having good understanding in Thai side as well as other Thai researchers and students in various places could have a good opportunity to meet and discuss to these experts from Japan.

In year 2011, the Japanese researcher in this project was the representative of the printing industrial association in Japan to present the talk at the meeting of the association of Thai printing industrial. This indicates that the success of the project is not only benefit for Thai and Japan researchers but also can have an impact to the production industrial in Thailand.

Thai participated researchers spend long enough periods of time for visiting Japan research laboratory and this allowed them to gain much experience in conducting research on flexible electronics devices especially OLED. Three researchers from Mahidol University, MTEC and Naresuan University conducted the intensive research at Japan laboratory for a few months at different periods of time. Although on that year less people could visit Japan, a longer visit could make a significant training experience and the strong collaboration. During the stay in Japan, the international conferences were arranged and the encouragement on the business partners and Japanese research students to also give the presentation and discussion made this project success in wider communities. This let Thai researcher to understand more in the business research partner while the Japanese students could have opportunity to be participate in an international environment.

A large progress in research activity resulting from this corporation is in the development of the OLED on the realistic flexible electronic substrates. These included the development on the encapsulation technique by ultra-violet cured polymerization, fabricating the low damage transparent conductive both for the bottom and top electrodes and the technique to fabricate the device on the flexible polymer substrate with transparent conductive layer. While the various conjugated polymers synthesized by Thai researcher were used to incorporate in the OLED structure fabricated at Japanese laboratory. The exchange and development in these science and technology led to not only the step up in the flexible electronic device research but also the good understanding both in research activities and culture of two countries. This accomplish corporation allowed the strong connection between Thai and Japanese researchers to make a further development in the related devices. Since the researches involving in this joint project came from various places, the possibility on the extension of this connection to other groups in each country can lead this bilateral project to achieve to the whole communities.

With the well collaboration more than three years, both Thai and Japanese researchers have well understanding each other including technical expertise, academic, resources, equipments, and personals. This can lead the continue collaboration in future and also extend to the other research groups in each country. This example can be demonstrated by the continue organizing the computational material design workshop with Japanese experts in Thailand. Moreover this project can also enable Thai printing industrial to be aware of new coming technology of printing electronic.

## **Keywords**

Flexible electronics devices, Organic light emitting devices (OLED), Organic materials for electronic, Plastic electronics

# สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

บทที่ 4 ผลดำเนินการวิจัย

บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

# บทที่ 1 บทนำ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์เปล่งแสงได้แสดงให้เห็นศักยภาพเชิงพาณิชย์ในการการนำสารอินทรีย์มาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเห็นผลกระทบได้เป็นอย่างมากเมื่อบริษัทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยักษ์ใหญ่ของโลกได้นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์เปล่งแสงมาใช้เป็นจอแสดงผลในโทรศัพท์มือถือ ด้วยการนำเสนอของเด่นของอุปกรณ์ที่ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากมีการเปล่งแสงออกจากตัวโมเลกุลสารอินทรีย์เอง และจากการที่แสงออกมาจากการตัวโมเลกุลเองนี้ยังทำให้จอแสดงผลแบบนี้สามารถมองเห็นได้จากทุกมุมมอง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความโดดเด่นและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งในทางการพัฒนาเทคโนโลยีถือได้ว่าเป็นจุดเปลี่ยนต่อการยอมรับในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ ในที่นี้นอกจากจะได้กล่าวถึงการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์เปล่งแสงในรูปแบบต่าง ๆ ที่เรียกได้ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์พื้นฐานในการวิจัยนี้แล้ว ยังจะได้มีแสดงการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ทรานซิสเตอร์ฟิลด์เอฟเฟค และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซลล์เปลี่ยนสีด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นการวิจัยพัฒนาต่อเนื่องจากความสำเร็จในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์เปล่งแสง

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไป เริ่มมีความหลากหลายของการใช้วัสดุมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารอินทรีย์เป็นวัสดุทำงานแทนสารกึ่งตัวนำซิลิกอน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในรูปแบบที่เป็นผลึกเดี่ยวที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก จึงต้องสร้างสิ่งประดิษฐ์บนแผ่นผลึกเดี่ยวซิลิกอนที่แข็งเรียบ และต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการเตรียม อีกทั้งความจำเป็นในความต้องการเพิ่มจำนวนหน่วยการทำงานในอุปกรณ์ให้มีจำนวนมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากจำนวนหน่วยเก็บความจำที่ผู้ใช้ต้องการมากขึ้นตามโปรแกรมประยุกต์ใช้ที่ซับซ้อนมากขึ้น การวิจัยพัฒนาทางด้านสิ่งประดิษฐ์สารอินทรีย์ที่เตรียมบนแผ่นฐานรองชนิดอ่อน จึงได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ความสำเร็จของการวิจัยพัฒนาอุปกรณ์นี้ สามารถเห็นได้จากการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์จอแสดงผลอินทรีย์ในอุปกรณ์มือถือต่าง ๆ ที่เปลืองไฟน้อยกว่าจอแสดงผลแบบเดิม อีกทั้งยังสามารถทำให้มองเห็นการแสดงผลได้เป็นมุมที่กว้างกว่าเดิมมาก

การวิจัยพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดแผ่นฐานรองอ่อนนี้ ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเท่ากับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจำพวกซิลิกอน ซึ่งได้มีการผลิตเฉพาะในบริษัทที่มีขนาดใหญ่ และมีการลงทุนสูงมาก การวิจัยพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำเดิมจึงต้องลงทุนสูง และมีการแข่งขันมากกว่ามาก ส่วนการวิจัยพัฒนาสิ่งประดิษฐ์สารอินทรีย์มีความหลากหลายของชนิดสาร และโครงสร้างที่ใช้กันอยู่เป็นจำนวนมาก และเทคโนโลยีการผลิตยังไม่ได้เจาะจงที่เทคโนโลยีใดอย่างแน่นอนในปัจจุบัน การวิจัยพัฒนาเพื่อเตรียมความพร้อมแก่อุตสาหกรรมทั้งทางด้านแรงงานคน ศักยภาพการพัฒนา การออกแบบผลิตภัณฑ์ และความเข้าใจในกลไกพื้นฐาน ต่างมีความสำคัญต่อความพร้อมรองรับอุตสาหกรรมการผลิตที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้

การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนจากโมเลกุลสารอินทรีย์นั้น จำเป็นต้องมีความร่วมมือกันจาก นักเคมีในการออกแบบสังเคราะห์โมเลกุล นักฟิสิกส์ในการวัดและอธิบายสมบัติของ

สารแต่ละชั้นในสิ่งประดิษฐ์ และวิศวกรในการประกอบกันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้มีประสิทธิภาพ สถานะภาพการวิจัยสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ในประเทศ ยังคงจะกระจายแยกส่วนกันอยู่ ทำให้เมื่อนักเคมีสังเคราะห์สารใหม่ ที่น่าจะมีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้ทำอุปกรณ์ ไม่สามารถตรวจสอบยืนยันการใช้สมบัติสารเหล่านั้นได้อย่างแท้จริง นักฟิสิกส์ไม่สามารถกำหนดสร้างสารให้มีลักษณะที่จะสามารถอธิบายการนำไฟฟ้า และสมบัติทางแสง เพื่อประกอบเป็นโครงสร้างอุปกรณ์จากโมเลกุลอินทรีย์ได้ ในขณะที่วิศวกรที่สามารถสร้างแพทเทิร์นในโครงสร้างอุปกรณ์ได้ หากแต่ไม่มีความเข้าใจในสารอินทรีย์ที่นำไปใช้ เหล่านี้จึงไม่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ให้ดีขึ้นได้มากนัก ที่สำคัญการวิจัยในประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังมีช่องว่างของการพัฒนา ในหน่วยวิจัยและหน่วยงานอุตสาหกรรมเอกชน ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการด้านการตลาดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีในการผลิตมีการปรับตัวตามอย่างรวดเร็ว การนำเทคนิคใหม่มาประยุกต์ใช้โดยไม่มีความเข้าใจพื้นฐานจากการวิจัยเบื้องต้นมาสนับสนุน ทำให้อุตสาหกรรมต้องพึ่งพิงเทคโนโลยีและความรู้จากภายนอกประเทศตลอดเวลา

โครงการวิจัยที่มีความร่วมมือจากกลุ่มวิจัยหลากหลายทั้งภายในและภายนอกประเทศ จะทำให้เกิดการร่วมมือปรึกษาในโจทย์วิจัยร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดผลสำคัญที่เป็นรูปธรรมในเชิงผลิตภัณฑ์ มากกว่าการกระจาย การดำเนินการวิจัยแบบแยกส่วน โดยไม่คำนึงถึงสิ่งที่ต้องนำผลของแต่ละส่วนมาประกอบกันจริง ความร่วมมือกันของกลุ่มวิจัยต่าง ๆ ในการร่วมกันพัฒนาสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์นี้ จำเป็นต้องประกอบด้วย กลุ่มวิจัยนักเคมีอินทรีย์ที่มีศักยภาพในการออกแบบและสังเคราะห์โมเลกุลให้มีฟังก์ชันการทำงานตามต้องการ กลุ่มวิจัยนักเคมีฟิสิกส์ที่เข้าใจการจับรวมตัวของสารอินทรีย์ในการสร้างเป็นชั้นฟิล์ม กลุ่มนักวิจัยทางฟิสิกส์ที่มีศักยภาพในการสร้างชั้นขั้วไฟฟ้าที่มีสมบัติทางแสงตามที่กำหนด โดยจะต้องไม่ทำลายสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ง่าย มีความเข้าใจในกลไกการนำไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของแต่ละชั้นในโครงสร้างของอุปกรณ์ อีกทั้งกลุ่มนักวิจัยวิศวกรที่สามารถประกอบชิ้นฟิล์มต่าง ๆ และวัดสมบัติรวมของอุปกรณ์เพื่อตรวจวัด และหาจุดเหมาะสมที่ทำให้อุปกรณ์ประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งยังสามารถแบบโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ปกป้องไม่ให้เกิด หรือ ความชื้นภายนอก ไปทำลายสมบัติของสารอินทรีย์ให้เสื่อมประสิทธิภาพได้

จุดด้อยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการวิจัยในประเทศไทย คือ ความร่วมมือกันระหว่างหน่วยงานวิจัย กับ ภาคการผลิตในอุตสาหกรรม ซึ่งการวิจัยในประเทศญี่ปุ่นมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานวิจัยกับภาคอุตสาหกรรมที่เข้มแข็งมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างและระบบงานวิจัยที่สอดคล้อง และสนับสนุนกัน ในภาคอุตสาหกรรม และหน่วยงานวิจัยทำให้เกิดการวิจัยพัฒนาในประเทศญี่ปุ่น มีผลนำไปใช้ต่อความต้องการในภาคการผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้จริง

## บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงเป็นอุปกรณ์แสดงผลแบบแบน ที่มีแนวโน้มจะนำมาใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลายในอนาคตอันใกล้ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถเปล่งแสงได้ด้วยตัวเอง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อย และสามารถมองเห็นที่มุมกว้างกว่าจอแสดงผลชนิดอื่น ในปัจจุบันได้มีการประกาศที่จะได้นำอุปกรณ์อินทรีย์แสดงผลนี้ไปใช้ในบางผลิตภัณฑ์แล้ว อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงนี้ต้องใช้ วัสดุชั้นไฟฟ้าที่มีค่าฟังก์ชันการทำงานต่ำในชั้นการนำอิเล็กตรอน ซึ่งโดยปกติจะใช้โลหะแมกนีเซียม-เงิน หรือ ลิเทียม-อลูมิเนียม ซึ่งโลหะเหล่านี้ไวต่อปฏิกิริยาเคมีในอากาศที่มีออกซิเจนมาก และชั้นโลหะเหล่านี้จะไม่ยอมให้แสงผ่าน โดยทั่วไปชั้นไฟฟ้าที่ยอมให้แสงผ่านได้เช่น อินเดียมดีบุกออกไซด์ จะมีค่าฟังก์ชันการทำงานสูงและใช้เป็นชั้นไฟฟ้าให้ประจุบวกผ่าน ได้มีการพัฒนาโดยโพลีเมอร์บางอินเดียมดีบุกออกไซด์นี้ด้วยซีเซียม ในระหว่างการเคลือบฟิล์ม ด้วยวิธีการสปัตเตอร์ จะทำให้ได้ชั้นไฟฟ้าที่ยอมให้แสงผ่านได้ และมีฟังก์ชันการทำงานต่ำประมาณ 4.3 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นชั้นไฟฟ้าในการประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสง อันทำให้สามารถได้อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงชนิดใหม่ที่มีลักษณะโปร่งใส มองทะลุผ่านได้เมื่อไม่ได้ผ่านกระแสไฟฟ้า และเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจะเกิดการเปล่งแสงและมองไม่ทะลุ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เคลือบลงบนกระจกผนังหรือกระจกหน้าต่างหรือแผ่นพลาสติกที่งอได้ชนิดอื่น ๆ เทคนิคนี้ยังสามารถใช้ได้ ในการกรณีที่ต้องการจะสร้างโครงสร้างอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงหลายสีซ้อนกันด้วย ทำให้สามารถสร้างเป็นจอแสดงผลหลายสีตามที่ต้องการได้

การพัฒนาชั้นฟิล์มบางที่ใช้เป็นชั้นไฟฟ้าและมีสมบัติยอมให้แสงผ่าน เป็นเทคนิคที่สำคัญมากในการเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง ได้มีงานวิจัยจำนวนมากพยายามพัฒนาเตรียมฟิล์มบางให้ได้คุณภาพที่ดีด้วยเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยลง ได้มีการวิจัยพัฒนาใช้การจุ่มเคลือบฟิล์มในสารละลาย เพื่อให้ได้ฟิล์มบางใสนำไฟฟ้าในราคาถูก เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ระบบสุญญากาศที่มีต้นทุนสูง อย่างไรก็ตามต้องมีการอบฟิล์มที่อุณหภูมิสูงถึง 600 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้สมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยพัฒนาเพื่อให้เข้าใจกลไกการนำไฟฟ้าและพัฒนากระบวนการเตรียมเพื่อให้ได้ชั้นฟิล์มบางที่ราคาถูกและมีคุณภาพดีที่สามารถใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสงได้ในเชิงอุตสาหกรรม

แนวโน้มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ยังได้มีการพัฒนาให้ได้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานรองที่อ่อนโค้งงอได้ ซึ่งมีความเป็นไปได้เนื่องจากมีการเปลี่ยนจากสารกึ่งตัวนำซิลิกอนที่เป็นส่วนสำคัญในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ที่สามารถทำงานได้แม้ไม่ได้อยู่ในโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามยังต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้บนแผ่นฐานรองที่อ่อนโค้งงอได้ เนื่องจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เหล่านี้มักจะไวต่อการทำปฏิกิริยากับกาซออกซิเจนและความชื้น ตัวอย่างเทคนิคที่ได้มีการรายงานไว้เช่น การสร้างชั้นก้ำกั๊กกันกาซออกซิเจนและความชื้น การเคลือบโครงสร้างทั้งหมดด้วยพอลิเมอร์ หรือโครงสร้างหลายชั้นที่สามารถป้องกันการแพร่ซึมของกาซได้

นอกจากจะมีการพัฒนาใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ เป็นอุปกรณ์แสดงผลแล้ว ด้วยประสิทธิภาพสูงเชิงการแปลงพลังงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ จึงได้มีการรายงานการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ เป็นอุปกรณ์ให้แสงสว่าง ที่มีพื้นที่การส่องสว่างได้มากกว่าปกติ ปัญหาของการใช้เป็นอุปกรณ์ให้แสงสว่างที่ได้มีการรายงานไว้ยังมีที่ต้องการพัฒนา อาทิเช่น การเกิดจุดเสื่อม ความไม่สม่ำเสมอของการส่องสว่าง การกระจายตัวของความร้อนสะสม อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ให้เป็นอุปกรณ์ให้แสงสว่าง จะเปิดโอกาสแนวทางใหม่ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ด้วยการนำลักษณะที่แตกต่างไปประยุกต์ใช้ดังจะเห็นได้จากรายงานการนำไปประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

# บทที่ 3 ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

กลุ่มวิจัยมีความต้องการพัฒนาต่อยอด จากความรู้ของการประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงกับอุปกรณ์อินทรีย์ทรานซิสเตอร์ และเซลล์แสงเปลี่ยนสีได้ จึงได้มีการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญจากประเทศญี่ปุ่นเกี่ยวกับเทคนิคการเตรียมฟิล์มบางใสนำไฟฟ้าและได้กำหนดให้นักวิจัยเดินทางไปศึกษาการเตรียมฟิล์มบางใสนำไฟฟ้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัยที่ประเทศญี่ปุ่น โดยได้มีการพัฒนาระบบสเปคโตรริงสำหรับการเคลือบฟิล์มบางใสนำไฟฟ้าและได้ทดลองปรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสเปคโตรริงสำหรับการเคลือบฟิล์มบางใสนำไฟฟ้าที่ลดการทำลายวัสดุบนแผ่นฐานรองส่วนหนึ่ง และได้มีการพัฒนาต่อยอดจากความรู้ของการประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงไปสู่การประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์ทรานซิสเตอร์ และเซลล์แสงเปลี่ยนสีได้

กลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นที่ร่วมในโครงการวิจัย มีความเชี่ยวชาญพิเศษ ทางด้านการเคลือบขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง ITO ทั้งจากการยิงด้วยไอออน และการเตรียมอย่างง่ายราคาถูก ด้วยการพ่นสารละลาย ได้มีการพัฒนาการเตรียมชั้นฟิล์ม ITO ให้ลดการทำลายสิ่งประดิษฐ์สารอินทรีย์จนประสบความสำเร็จในการเตรียมสิ่งประดิษฐ์สารอินทรีย์แบบใหม่ที่มีการเคลือบชั้น ITO เป็นขั้วไฟฟ้า ทั้งทางด้านล่างและด้านบนของอุปกรณ์ ทำให้ได้อุปกรณ์สารอินทรีย์ที่โปร่งแสง และสามารถมองเห็นได้ จึงได้ประยุกต์เคลือบติดสิ่งประดิษฐ์แบบใหม่นี้บนแว่นตา ทำเป็นสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบที่สามารถเห็นเป็นจอภาพแสดงผล โดยในขณะที่ไม่ใช้งานสามารถมองเห็นได้ปกติ และเมื่อให้สัญญาณไฟฟ้า อุปกรณ์จะเปล่งแสงที่มีแม่สีต่าง ๆ ได้เป็นภาพตามต้องการ

ได้มีนักวิจัยไทยในโครงการนี้ร่วมทำวิจัยระยะยาวในประเทศญี่ปุ่น เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง ITO นี้ โดยได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการเตรียม และผลของการเสื่อมของชั้นสารอินทรีย์ ด้วยการสังเกตสมบัติการเรืองแสงที่เปลี่ยนไปของชั้นสารอินทรีย์ เทียบกับการศึกษาเปลี่ยนแปลงของชั้นฟิล์มเนื่องจากความร้อน การที่นักวิจัยไทยได้มีโอกาสร่วมทำวิจัยระยะยาวกับนักวิจัยญี่ปุ่นที่มีประสบการณ์มาก ด้วยเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลายาวนาน ทำให้เกิดการเรียนรู้ทั้งทางเทคนิคและในกระบวนการวิจัย โดยได้มีโอกาสรวบรวมผลงานวิจัยนำเสนอในที่ประชุมนานาชาติและในวารสารที่มีการตรวจคัดในระดับนานาชาติได้

กลุ่มนักวิจัยไทยในโครงการ มีความเชี่ยวชาญในการสังเคราะห์ และตรวจวัดสมบัติของสารอินทรีย์ ที่ใช้ประกอบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดแผ่นฐานรองอ่อนนี้ เมื่อนักวิจัยญี่ปุ่นได้เดินทางมาประเทศไทย จึงเป็นโอกาสที่นักวิจัยญี่ปุ่นได้พบปะปรึกษาปัญหาโจทย์วิจัย และเข้าเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการวิจัย ในหน่วยงานของนักวิจัยไทยที่ร่วมในโครงการ โดยในการเดินทางในครั้งนี้นักวิจัยญี่ปุ่นได้มีโอกาสเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการวิจัย ที่มหาวิทยาลัยมหิดล และศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ นอกจากนี้มีโอกาสเดินทางไปดูศักยภาพการวิจัยใน ห้องปฏิบัติการวิจัยของกลุ่มตรวจสอบสมบัติของสารอินทรีย์ที่มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ซึ่งทำให้นักวิจัยญี่ปุ่นได้มีความเข้าใจในโจทย์วิจัยและศักยภาพของห้องปฏิบัติการวิจัยต่าง ๆ ด้วย ทำให้เกิดความร่วมมือกันทำงานวิจัยในหัวข้อวิจัยที่สนใจร่วมกันทั้งสองฝ่าย

ในระหว่างการเดินทางมาของนักวิจัยญี่ปุ่นในโครงการ ได้จัดให้มีการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการในหน่วยงานต่าง ๆ โดยนอกจากจะจัดให้นักวิจัยในโครงการได้ร่วมบรรยายพร้อมกับนักวิจัยญี่ปุ่นแล้ว ยังได้เชิญนักวิจัยในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมบรรยายด้วย อาทิเช่นได้มีการเชิญนักวิจัยที่ทำงานในศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ และคณาจารย์ท่านอื่นที่ทำงานเกี่ยวข้องในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ร่วมบรรยายด้วย ดังจะเห็นได้จากโปรแกรมกำหนดการบรรยายในการประชุมสัมมนาในแต่ละครั้งจะเห็นได้ว่าโดยทั่วไป เมื่อได้เชิญนักวิจัยญี่ปุ่นเดินทางมาประเทศไทย จะได้จัดให้มีการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการถึงสองครั้งในหน่วยงานที่แตกต่างกัน ตามที่นักวิจัยในโครงการสังกัดอยู่ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการเดินทางมาของนักวิจัยญี่ปุ่น และต่อบุคคลากรในสังกัดต่าง ๆ นั้น เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนสถานที่การจัดประชุมสัมมนา บุคคลากรและนักศึกษาวิจัยในหน่วยงานที่สังกัดเหล่านั้น จะมีโอกาสได้รับฟังความก้าวหน้าในการวิจัย และสามารถสอบถามปรึกษากับกลุ่มนักวิจัยในโครงการอย่างใกล้ชิด ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดความร่วมมือในการวิจัยที่กว้างขึ้นในอนาคต

นอกจากจะมีการร่วมทำวิจัยทางด้านการพัฒนาข้าวไฟฟ้าโปร่งแสง ที่ไม่ทำลายชั้นสารอินทรีย์แล้วนั้น นักวิจัยไทยได้ร่วมพัฒนาวิจัยในการตรวจสอบสมบัติของชั้นฟิล์มสารอินทรีย์ที่เตรียมขึ้น และพัฒนากระบวนการตรวจสอบสิ่งประดิษฐ์ให้ได้พารามิเตอร์เป็นที่น่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งได้มีการจัดสร้างชุดตรวจสอบเหล่านี้ขึ้นในหน่วยวิจัยในประเทศไทย ทำให้กลุ่มนักวิจัยไทยในโครงการมีชุดเครื่องมือตรวจวัดที่สามารถใช้ร่วมกัน ในทดสอบสมบัติและ ประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ความร่วมมือในโครงการร่วมไทย-ญี่ปุ่นนี้ไม่เพียงแต่จะทำให้เกิดความร่วมมือในการวิจัยพัฒนาระหว่างกลุ่มนักวิจัยไทยกับนักวิจัยญี่ปุ่นเท่านั้น หากแต่ยังทำให้เกิดความร่วมมือกันในการร่วมกันทำงานวิจัยในกลุ่มนักวิจัยไทยให้มีความเข้มแข็งมากขึ้นอย่างเป็นอันมาก และสามารถร่วมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย

ได้มีการพัฒนาประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์บนแผ่นฐานรองพอลิเมอร์ ที่เคลือบด้วยข้าวไฟฟ้าโปร่งแสง เนื่องจากแผ่นพอลิเมอร์สามารถโค้งงอได้ ดังนั้นในระหว่างกระบวนการเตรียมอุปกรณ์จึงจำเป็นต้องติดแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ฐานรองนี้ บนแผ่นกระจก ก่อนการเคลือบชั้นสารต่าง ๆ จากนั้นจึงทำการสร้างแพทเทิร์นบนข้าวไฟฟ้า ITO บนแผ่นฐานพอลิเมอร์นี้ โดยการสร้างชั้นสารไวแสงก่อน จากนั้นจึงนำแพทเทิร์นที่เตรียมไว้มาวางทับด้านบน แล้วฉายแสงเหนือม่วงให้มีแสงผ่านบางบริเวณตามรูปแบบของแพทเทิร์น เมื่อมีแสงผ่านบางบริเวณมากกระทบยังชั้นสารไวแสง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารไวแสง ซึ่งเมื่อผ่านการจุ่มน้ำยาล้างสาร ในส่วนบริเวณที่ถูกแสงจะถูกล้างออกไป ทำให้เกิดแพทเทิร์นบนชั้นสารไวแสงเปิดขึ้น ทำการกัดชั้น ITO ด้วยกรด โดยกรดจะทำการกัดชั้น ITO เฉพาะบริเวณที่เป็นแพทเทิร์นเปิด เมื่อทำการล้างชั้นสารไวแสงออกทั้งหมดจะได้ชั้น ITO ที่มีแพทเทิร์นตามที่ออกแบบไว้ การที่จะสร้างให้ได้แพทเทิร์นของชั้น ITO ที่มีลวดลายละเอียดที่เล็กมาก โดยไม่มีเศษชั้นฟิล์ม ITO เหลือ หรือ มีการซึมบริเวณของชั้น ITO จำเป็นต้องมีการศึกษาตัวแปรความเข้มข้นและเวลาของทั้งสารเคมีและปริมาณแสงที่ใช้ให้เหมาะสม

เนื่องจากแผ่นฐานของพอลิเมอร์ ไม่สามารถทนอุณหภูมิได้สูงเท่ากับในแผ่นฐานรองแก้ว การเคลือบชั้นสารอินทรีย์ด้วยการระเหยสารในสุญญากาศ จำเป็นต้องหาอัตราการเคลือบที่เหมาะสม

เพื่อให้ได้ฟิล์มที่เหมาะสม ลักษณะพื้นผิวของแผ่นฐานรองก็มีความสำคัญมากซึ่งจะทำให้ได้การแปลงแสงที่มีประสิทธิภาพและทนต่อการโค้งงอของอุปกรณ์ โดยในระหว่างการเคลือบระบบจะถูกปั๊มให้เป็นสุญญากาศที่ความดันต่ำถึง  $10^{-6}$  ทอร์ เพื่อลดปริมาณแก๊สเจือปนที่อาจมีอยู่ในระบบ จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่สารอย่างช้า เพราะสารอินทรีย์นี้จะมีมวลโมเลกุลน้อยจึงสามารถเกิดการระเหิดจากผงได้ง่าย ทำให้ได้ฟิล์มสารอินทรีย์ที่ไม่เรียบสม่ำเสมอ และมักจะมีการเกาะเป็นเม็ดผลึกเล็ก ๆ การกระจายอยู่ การควบคุมปริมาณความร้อนที่เหมาะสมตลอดเวลา จะทำให้ได้ฟิล์มสารอินทรีย์ที่เรียบสม่ำเสมอได้ เนื่องจากฟิล์มบางสารอินทรีย์จะมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อสัมผัสแก๊สออกซิเจนและความชื้น ดังนั้นการเตรียมชั้นฟิล์มบางอินทรีย์หลายชั้นนั้น จะได้ฟิล์มที่ดีได้หากสามารถทำการเคลือบอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องเปิดระบบสู่บรรยากาศ หรือ ให้สัมผัสกับบรรยากาศเป็นเวลาน้อยที่สุด

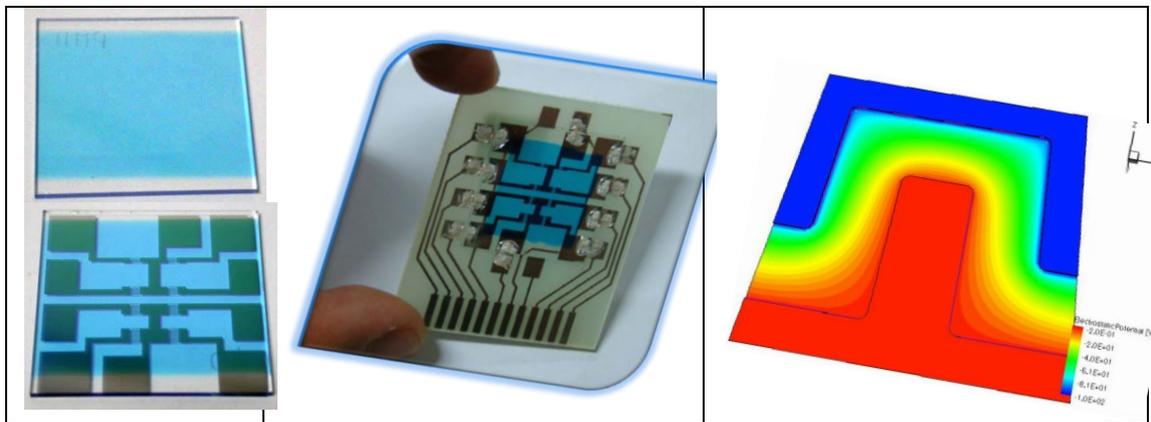
เมื่อได้เคลือบชั้นฟิล์มบางสารอินทรีย์ ครบตามโครงสร้างอุปกรณ์ทั้งหมด จะเป็นขั้นตอนการเคลือบชั้นขั้วไฟฟ้า ซึ่งได้ทดลองประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าด้วย Al:LiF และขั้วไฟฟ้า ITO โดยการเคลือบชั้นขั้วไฟฟ้า Al:LiF จะสามารถทำได้โดยการระเหิดสารในสุญญากาศ ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ทำลายชั้นสารอินทรีย์มากนัก แต่การเตรียมชั้น ITO บนชั้นสารอินทรีย์จะทำการเคลือบด้วยการยิงด้วยอีออน ซึ่งจะต้องยิงอีออนพลังงานสูงไปยังสารโมเลกุล ITO ให้หลุดเคลือบติดกับฟิล์ม การที่ต้องใช้อีออนมีพลังงานสูงนี้จะทำลายชั้นสารอินทรีย์ จึงต้องหาเทคนิคและพารามิเตอร์การเตรียมที่เหมาะสม อีกทั้งได้มีการศึกษาการตรวจวัดการทำลายของชั้นสารอินทรีย์จากการเตรียม ITO ด้วยการยิงด้วยอีออน

การเตรียมขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง ITO ด้านบน จะทำให้อุปกรณ์สารอินทรีย์นี้สามารถมองเห็นทะลุผ่านได้ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้า Al จะไม่ยอมให้แสงทะลุผ่านได้ จึงทำให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ในอีกรูปแบบหนึ่งได้ ซึ่งการพัฒนาขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงบนชั้นสารอินทรีย์นี้เป็นความเชี่ยวชาญเฉพาะในกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นที่ร่วมในโครงการนี้

ได้วัดสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์สารอินทรีย์บนแผ่นฐานรองพอลิเมอร์ ในสภาวะปกติและในสภาวะที่โค้งงอแผ่นฐานรอง ได้สังเกตการเสื่อมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบิดโค้งงอ ได้วัดสเปกตรัมของแสงที่ปลดปล่อยออกจากอุปกรณ์ที่เตรียมจากสารอินทรีย์ที่แปลงแสงให้สีต่าง ๆ ในสภาวะที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าต่าง ๆ เพื่อศึกษาการปลดปล่อยแสงจากสารอินทรีย์ ด้วยการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้านี้ การสังเกตการเสื่อมของอุปกรณ์ที่แปลงแสงในขณะที่ทำการโค้งงอ จะทำให้เข้าใจถึงการเสื่อมประสิทธิภาพของฟิล์ม เนื่องจากการถูกทำลายของชั้นฟิล์มต่าง ๆ

# บทที่ 4 ผลการวิจัย

## การวิจัยทรานซิสเตอร์ฟิลด์เอฟเฟคสารอินทรีย์



OFET (Organic Field Effect Transistor) เป็นสิ่งประดิษฐ์จากสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าสิ่งประดิษฐ์จากสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น อุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์ (OLED) เซลแสงอาทิตย์อินทรีย์ เนื่องจาก OFET จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าถึง สามขั้ว โดยอุปกรณ์อินทรีย์ทั่วไป จะมีขั้วไฟฟ้าเพียงสองขั้ว โครงสร้างนี้ประกอบด้วยชั้นสารที่มีสมบัติต่างกัน สองชนิด คือ ชั้นหนึ่งจะมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ และอีกชั้นหนึ่งจะเป็นชั้นฉนวนไฟฟ้าที่มีไว้สำหรับควบคุมความเข้มของสนามไฟฟ้า

OFET สามารถมีโครงสร้างได้หลายแบบ ตามลำดับการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์เป็นโครงสร้างต่างๆ ได้แก่

1. Top gate top contact เป็นโครงสร้างทรานซิสเตอร์ที่มีชั้นสารกึ่งตัวนำอยู่ด้านล่างและมีชั้นฉนวนอยู่ด้านบน ขั้วเกตและขั้วซอร์ทและเดรนจะอยู่ทางด้านบนทั้งหมด
2. Top gate bottom contact เป็นโครงสร้างที่ชั้นสารกึ่งตัวนำติดกับขั้วซอร์ทและเดรนที่อยู่ด้านล่าง และต่อเชื่อมกับชั้นฉนวนด้านบนและมีขั้วเกตต่ออยู่ด้านบน

## การวิจัยด้านการเคลือบฟิล์มโปร่งใสนำไฟฟ้า

การเคลือบฟิล์มด้วยกระบวนการสเปตเตอร์ริงอาศัยไอออนจากพลาสมาพุ่งเข้าชนกับเป้าที่ทำมาจากวัสดุทำฟิล์ม ทำให้ธาตุหรือโมเลกุลของวัสดุเป้าหลุดออกมา และบางส่วนเคลื่อนเข้าไปเกาะบนผิวของวัสดุฐานรองและสะสมตัวต่อเนื่องเป็นชั้นฟิล์มบางเคลือบบนวัสดุ กระบวนการสเปตเตอร์ริง มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงด้านบน (top emitting) หรือแบบหลายชั้น (stacked)

เมื่อเรียงจากชั้นล่างขึ้น โครงสร้างอย่างง่ายของอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงประกอบไปด้วยวัสดุฐานรอง ชั้นฟิล์มบางขั้วแอโนดโปร่งแสง ชั้นฟิล์มบางสารอินทรีย์โปร่งแสง ชั้นฟิล์มบางขั้วคาโทด ความหนาของชั้นฟิล์มบางทั้งสามชั้นมีค่าประมาณ 300-500 นาโนเมตร การเปล่งแสงของอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงในชุดแรก จะเปล่งแสงด้านล่างผ่านวัสดุฐานรอง ในชุดต่อ ๆ มา มีการพัฒนาให้การเปล่งแสงผ่านขั้วคาโทด ออกทางด้านบน แสงสีที่ได้จากอุปกรณ์จะถูกกำหนด ชนิดและโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่เลือกใช้ ลำดับต่อมาได้ มีการพัฒนาให้มีการซ้อนอุปกรณ์กันได้หลาย ๆ ชั้น เพื่อให้สามารถเปล่งแสงหลายสีได้จากการแอตเตอเรสอุปกรณ์ เพียงจุดเดียว

การสเปตเตอร์ริงนอกเหนือจากจะทำให้ธาตุหรือโมเลกุลของวัสดุเป้าหลุดออกมาแล้วยังเป็นที่ทราบกันดีว่ายังมีอนุภาคทุติยภูมิอื่น ๆ หลุดออกมาด้วย อนุภาคเหล่านี้หากมีประจุที่เหมาะสม มีพลังงานจลน์ มีระยะปลอดการชนที่ยาวสามารถจะเคลื่อนที่ไปถึงวัสดุฐานรอง ที่มีอุปกรณ์สารอินทรีย์เปล่งแสงได้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเสียหายของฟิล์มที่เคลือบอยู่บนวัสดุฐานรองก่อนแล้ว

อนุภาคหรือรังสีทุติยภูมิพลอยได้ที่เกิดการสเปตเตอร์ริง ได้แก่ อิเล็กตรอนทุติยภูมิ ออกซิเจน (กรณีที่ใช้การสเปตเตอร์ริงแบบใช้ก๊าซรวม (reactive sputtering) หรือ การใช้ไอออนของโลหะ) วัสดุ เป็นที่ทราบกันดีว่าอนุภาคทุติยภูมิที่มีประจุเหล่านี้ จะสูญเสียพลังงานให้กับสารอินทรีย์ที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการรวมกันของโมเลกุลของสารอินทรีย์เป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น (dimerization and polymerization) การเชื่อมต่อข้ามแนวแกนหลัก (cross linking) การแตกเป็นส่วนย่อย (fragmentation) การเสียหายของสารอินทรีย์ ซึ่งจะมีผลต่อโครงสร้างทางพลังงานของสารอินทรีย์ ทำให้สมบัติเชิงมหภาคของสารเหล่านี้เปลี่ยนไปเช่น แสงที่เปล่งออกมาเปลี่ยนสีไป ความเข้มของแสงลดน้อยลง การแปรสีของแสงที่เปล่ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของอุปกรณ์ การศึกษาโดยใช้ประกอบชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสง เข้าชั้นกับฟิล์มอื่นเป็นอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเปล่งแสงของอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลากหลายมากขึ้น เพิ่มความซับซ้อนให้กับการค้นหาสาเหตุให้มากยิ่งขึ้น เป็นการยากที่จะแยกแยะปัญหาด้านประสิทธิภาพว่าเกิดจากสาเหตุใดแน่ การลดความซับซ้อนโดยเลือกศึกษาบนชั้นฟิล์มสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียว จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดตัวแปรที่เกี่ยวข้องลง ลดความซับซ้อนของปัญหา และในขณะเดียวกันเมื่อต้องการการศึกษาในเชิงลึกของแต่ละตัวแปร ก็จะสามารถทำได้

ระดับของการเสียหายของสารอินทรีย์ เมื่อถูกกระทำโดยอนุภาคหรือรังสีทุติยภูมิเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาค ทิศทางของการเข้าปะทะ โครงสร้างของสารอินทรีย์ ชนิดหรือพันธะหลักในสารอินทรีย์เป็นต้น แม้จะมีการศึกษาผลของการเสียหาย แต่ละพารามิเตอร์ ที่ผ่านมา แต่ยังไม่มีการรวบรวมกันเข้าเป็นชั้นเดียวกัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อดำเนินการทดลองวิจัยผลของการเคลือบชั้นฟิล์มบาง  
อิเล็กทรอนิกส์โปร่งแสง ITO ด้วยกระบวนการสปัตเตอร์ริง ต่อ สมบัติการเรืองแสงของสารอินทรีย์เรือง  
แสง เช่น Alq<sub>3</sub> และ BALq ในสถานะที่ปลดออกซิเจน และ น้ำ

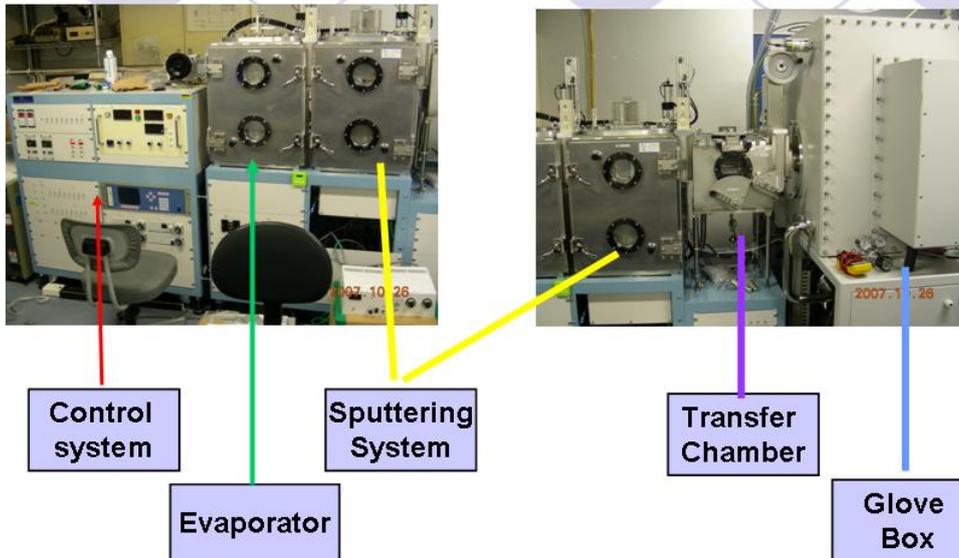
## อุปกรณ์การทดลองหลัก

ระบบเคลือบฟิล์มบาง และตู้ทดลองสภาวะปลอดออกซิเจน และ น้ำ (Glove Box) ประกอบด้วย

1. แผงควบคุม (Control system)
2. ตู้เคลือบฟิล์มบางสารอินทรีย์เรืองแสง แบบระเหย (evaporator)
3. ตู้เคลือบฟิล์มบางอิเล็กทรอนิกส์โปร่งแสง ITO ด้วยกระบวนการสปัตเตอร์ริง (sputtering system)
4. ตู้พักและส่งชิ้นงาน สู่ ตู้ทดลองสภาวะปลอดออกซิเจน และ น้ำ (transfer chamber)
5. ตู้ทดลองสภาวะปลอดออกซิเจน และ น้ำ (Glove box)

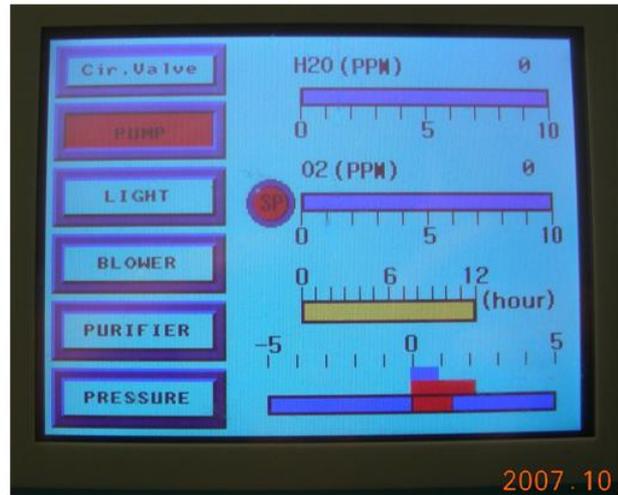
โดยทุกส่วนทั้งหมดประกอบเป็นระบบเดียวกันโดยไม่ต้องนำชิ้นงานออกมากกระทบกับบรรยากาศภายนอก รูปที่ 1 แสดงระบบทั้งหมด และ รูปที่ 2 แสดง สภาวะบรรยากาศภายใน ตู้ทดลองสภาวะปลอดออกซิเจน และ น้ำ

## Evaporation and sputtering system



รูปที่ 1 แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในศึกษา ในสภาวะควบคุมบรรยากาศ

# Controlled Environment



รูปที่ 2 แสดงตู้ปลอด ออกซิเจนและน้ำและ ปริมาณ ออกซิเจน (saturated pressure; O<sub>2</sub>) และน้ำ (H<sub>2</sub>O) ในตู้

## วิธีการทดลอง

1. เตรียมกระจกที่ใช้เป็นวัสดุฐานรอง
2. เคลือบฟิล์มของสารอินทรีย์บนกระจกชิ้นงานหลาย ๆ ชิ้น
3. แบ่งกระจกที่เคลือบฟิล์มแล้วบางส่วนไปเคลือบฟิล์มของ ITO ทับบนชั้นฟิล์มสารอินทรีย์
4. วัดสเปกตรัมการเรืองแสงของฟิล์มจากทั้งสองเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบ

ผลการทดลองในเบื้องต้นพบว่าการลดลงของความเข้มของแสงที่เรืองออกมาจากชั้นฟิล์มบางสารอินทรีย์เปล่งแสง ที่ไม่ถูกเคลือบทับด้วย ฟิล์มของ ITO ได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับความเข้มแสงจากชั้นฟิล์มบางสารอินทรีย์เปล่งแสงที่ไม่ถูกเคลือบทับ

อย่างไรก็ดี ยังมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ให้ละเอียดขึ้น และ หลากหลายมากขึ้น แต่สามารถดำเนินการได้ในประเทศ

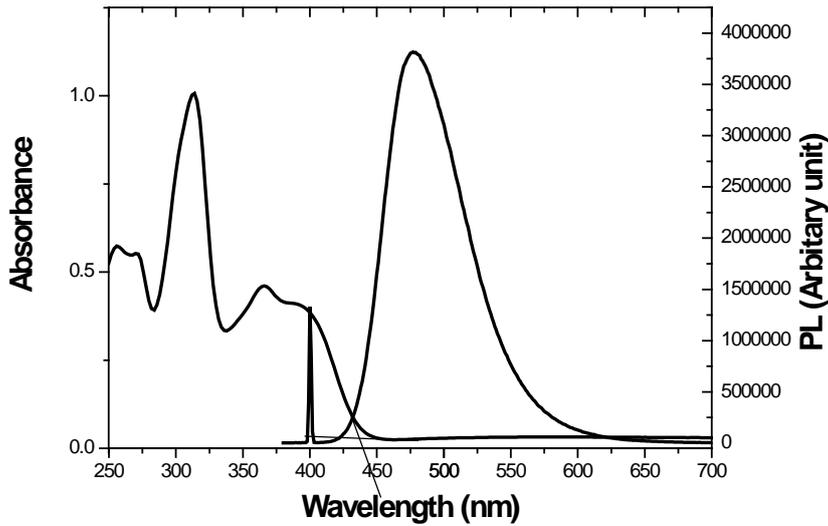
## การวิจัยสิ่งประดิษฐ์เปล่งแสงด้วยสารประกอบอินทรีย์โลหะ

ลักษณะของงานวิจัยในส่วนนี้ เป็นการทำการทดลองเพื่อวัดค่า Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) ของสารประกอบที่ใช้เป็นชั้นเปล่งแสงสำหรับไดโอด ด้วยวิธี Photo-Electron Spectroscopy in Air (PESA) โดยค่านี้เมื่อประกอบกับข้อมูลจาก UV-vis absorption spectroscopy ของสารประกอบ ซึ่งบอกถึงค่า Band gap ( $E_g$ ) จะทำให้ทราบค่า Lowest Occupied Molecular Orbital (LUMO) ของสารประกอบได้ ค่า HOMO, LUMO, และ  $E_g$  นี้เป็นข้อมูลที่สำคัญมากในการประกอบไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์ โดยค่า  $E_g$  ทำให้ทราบว่าสารประกอบชนิดนี้ควรเปล่งแสงเป็นสีอะไร ในขณะที่ค่า HOMO และ LUMO สามารถนำมาใช้ประกอบในการจัดเรียงชั้นของไดโอดฯ ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ไดโอดฯ ประสิทธิภาพสูง กล่าวคือปัจจัยสำคัญในการให้ไดโอดฯ มีประสิทธิภาพสูงได้คือการที่พาหะบวก (hole) และพาหะลบ (electron) เคลื่อนเข้าสู่ชั้นเปล่งแสงได้อย่างสมดุล ทั้งนี้พาหะบวกถูกฉีดจากขั้วไฟฟ้าบวกเข้าสู่ระดับ HOMO ของสารเปล่งแสง ในขณะที่พาหะลบถูกฉีดเข้าสู่ระดับ LUMO ของสารเปล่งแสง

อุปสรรคสำหรับการเกิดคุณภาพนี้คือระดับพลังงานที่แตกต่างกันระหว่าง HOMO ของสารอินทรีย์เปล่งแสงกับ work function ของวัสดุที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวก และระดับพลังงานที่แตกต่างกันระหว่าง LUMO ของสารอินทรีย์เปล่งแสงกับ work function ของวัสดุที่เป็นขั้วไฟฟ้าลบ

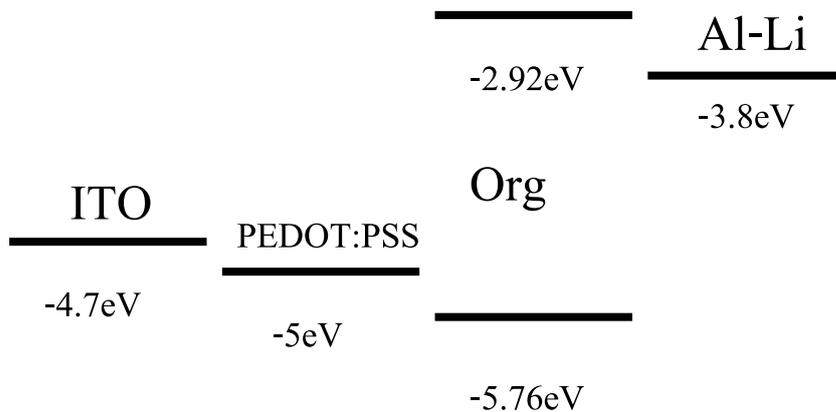
อย่างไรก็ตาม ถ้าเราทราบ HOMO และ LUMO ของสารอินทรีย์เปล่งแสงได้ ทำให้เราสามารถเพิ่มชั้นสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีค่า HOMO หรือ LUMO และ  $E_g$  ที่เหมาะสม แทรกระหว่างชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสงและขั้วไฟฟ้าบวกและลบ เพื่อให้ปริมาณพาหะบวกและลบที่ถูกฉีดเข้าสู่ชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสงเป็นไปอย่างสมดุล

เครื่อง PESA ที่ใช้เป็นรุ่น AC-1 ผลิตโดยบริษัท Riken Keiki สามารถใช้ในการหา HOMO ของสารอินทรีย์ที่นำมาทดสอบได้ตามที่ต้องการ โดยค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธี Cyclic Voltammetry (CV) อยู่พอสมควร ทั้งนี้ค่า HOMO ที่ได้จากการวัดด้วย PESA นี้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น (HOMO จากการวัดด้วย CV และ PESA เท่ากับ -5.76 และ 6.0 eV ตามลำดับ) การหาค่า  $E_g$  ด้วยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง UV-vis ซึ่งสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงแสดงในรูป ผลการทดลองพบว่า  $E_g$  ของสารอินทรีย์ที่นำมาทดสอบมีค่าเท่ากับ 2.84 eV ดังนั้น LUMO จึงมีค่าเท่ากับ -2.92 eV

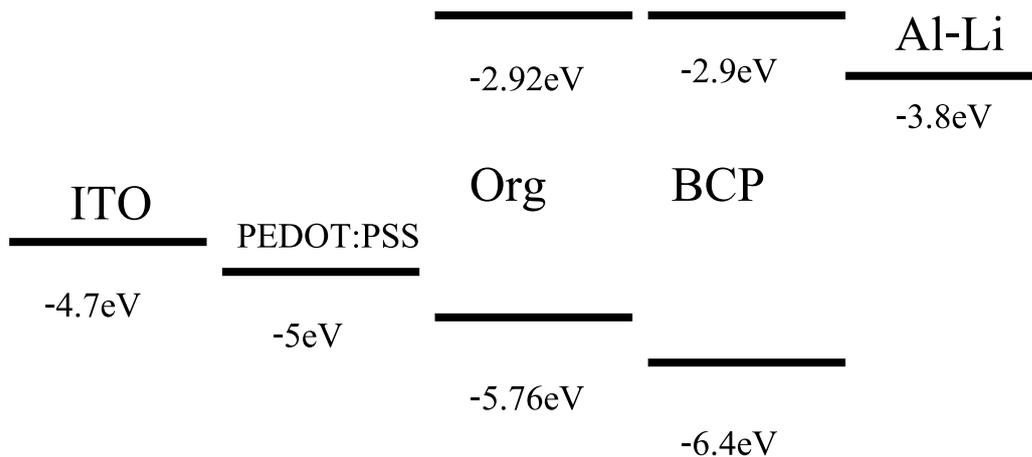


รูป 1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ช่วง UV-vis และการคายแสงของสารอินทรีย์ที่นำมาทดสอบ โดยตัวอย่างที่นำมาวัดเป็นฟิล์มบางของสารอินทรีย์บนกระจก

ไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์ได้ถูกสร้างขึ้นโดยเป็นสองโครงสร้างดังนี้ 1. ITO/Pedot:PSS/Org/ Al-Li/Al และ 2. ITO/Pedot:PSS/Org/PCB/Al-Li/Al โดย ITO คือกระจกที่ถูกเคลือบด้วย indium-tin oxide ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวก โดยมีความต้านทาน  $100 \Omega/\square$  , Pedot:PSS คือชั้นนำพาหะบวก มีความหนา 40 นาโนเมตร, Org คือสารอินทรีย์เปล่งแสง มีความหนา 40 นาโนเมตร, PCB คือ Bathocuproine มีความหนา 20 นาโนเมตร, Al-Li คือโลหะผสมอลูมิเนียม-ลิเทียม (0.2% ลิเทียม) มีความหนา 40 นาโนเมตร, Al คืออลูมิเนียม หนา 100 นาโนเมตร ระดับพลังงานของแต่ละชั้นแสดงในรูปข้างล่าง

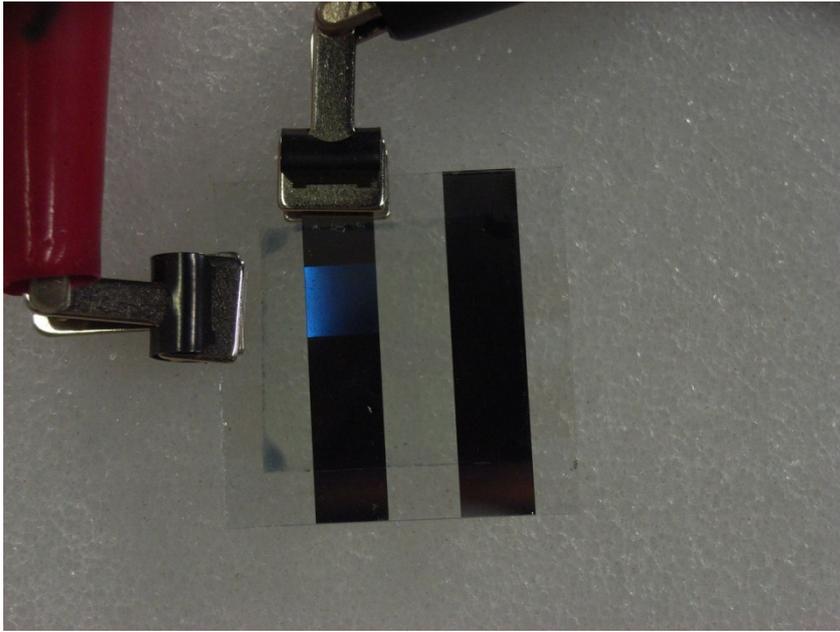


รูป 2 แสดงโครงสร้าง OLED แบบที่หนึ่ง : ITO/Pedot:PSS/Org/ Al-Li/Al

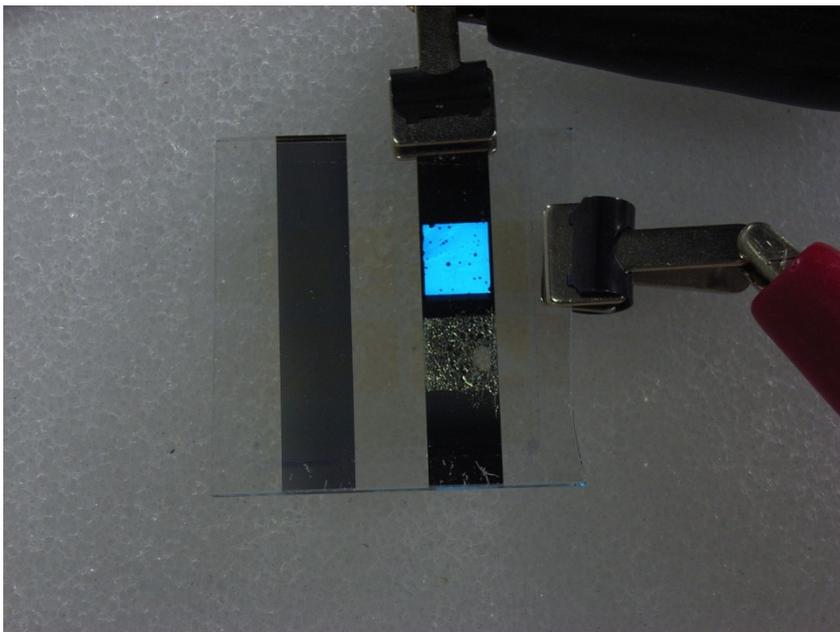


รูป 3 แสดงโครงสร้าง OLED แบบที่สอง : ITO/Pedot:PSS/Org/PCB/Al-Li/Al

ไดโอดเปล่งแสงจากโครงสร้างแรกประสบปัญหาจากการที่ ITO ที่ใช้มีค่าความต้านทานสูง ทำให้แสงเปล่งออกเฉพาะในตำแหน่งใกล้ขั้วไฟฟ้าบวกเท่านั้น ดังแสดงในรูป 4 เพราะพาหะบวกไม่อาจเคลื่อนไปยังบริเวณห่างออกไปในแนวราบได้ง่าย เมื่อเทียบการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเข้าสู่ชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสงและขั้วไฟฟ้าลบ เนื่องจากมีสนามไฟฟ้าความเข้มสูงเป็นตัวผลักดัน ในขณะที่เดียวกัน พาหะลบที่ถูกฉีดเข้าสู่ชั้นเปล่งแสงซึ่งมีจำนวนน้อยกว่า เมื่อพบกับพาหะบวกที่อยู่ใกล้ขั้วไฟฟ้าบวกจึงเกิดการรวมตัวกันและเกิดการเปล่งแสง เนื่องจากพาหะบวกในชั้นเปล่งแสงนี้มีจำนวนมากกว่าพาหะลบ ดังนั้นพาหะบวกส่วนเกินจึงไหลเข้าสู่ขั้วไฟฟ้าบวก ก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงาน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการเพิ่มขึ้นขวางการไหลของพาหะบวก โดยแทรกอยู่ระหว่างชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสงกับขั้วไฟฟ้าลบ ในที่นี้วัสดุที่ใช้คือ BCP ที่มีระดับ HOMO ที่ต่ำกว่า HOMO ของสารอินทรีย์เปล่งแสงมาก ส่งผลให้การไหลของพาหะบวกจากชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสงต่อไปยังขั้วโหลหะลบ เป็นไปได้ง่ายขึ้น ดังนั้นพาหะบวกจึงถูกกักอยู่ภายในชั้นสารเปล่งแสงมากขึ้น และบางส่วนแพร่ออกไปในแนวราบ ซึ่งมีพาหะลบเคลื่อนตัวเข้าสู่ชั้นสารเปล่งแสงแบบ uniform ดังนั้นแสงที่เปล่งออกมาจึงมีความสว่างมากขึ้นและมีความสม่ำเสมอของความสว่างตลอดทั้งบริเวณการเปล่งแสง ดังแสดงในรูป 5



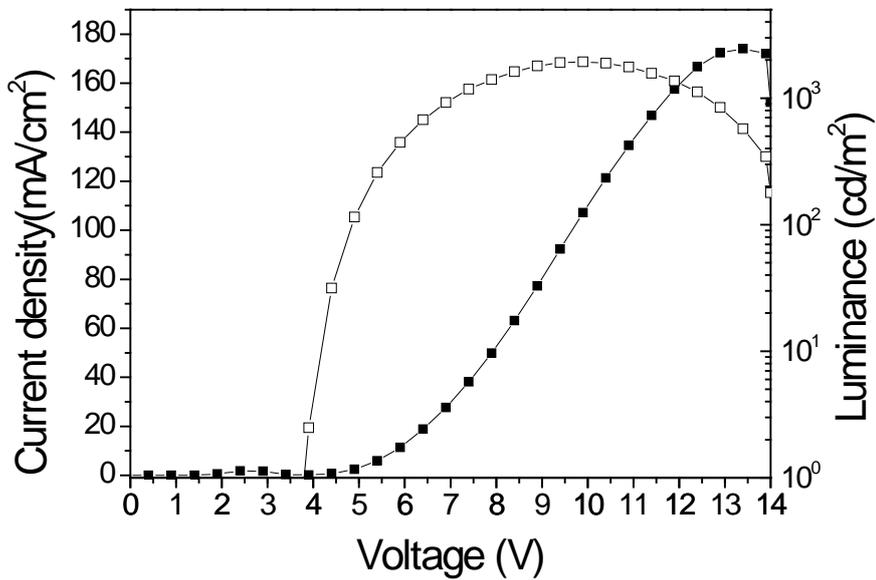
รูป 4 ไดโอดเปล่งแสงฯ โครงร่างที่หนึ่ง แสงเปล่งออกมาสูงสุดในตำแหน่งใกล้ขั้วไฟฟ้าบวก เพราะใช้กระจกเคลือบ ITO ที่มีค่าความต้านทานสูง ( $100 \square/\square$ )



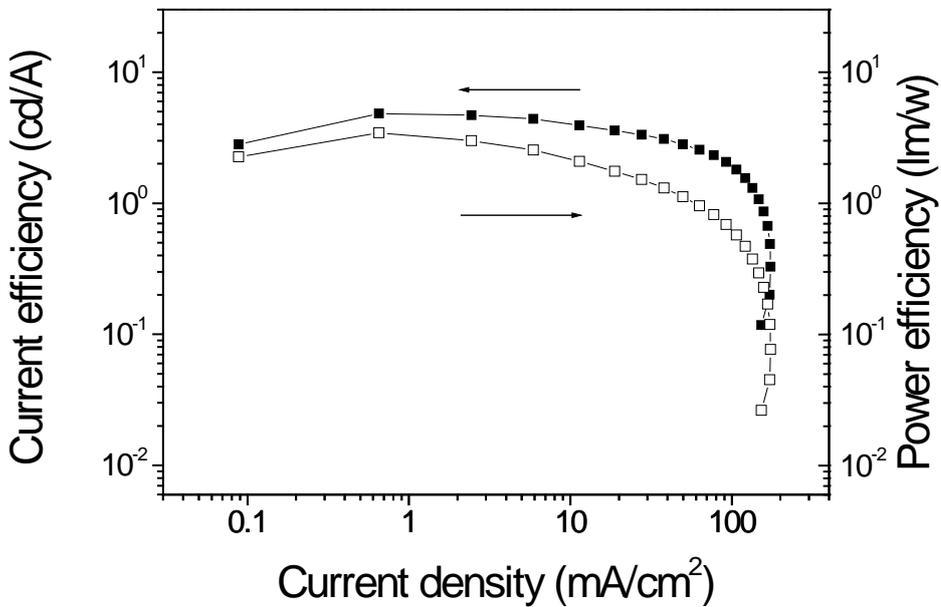
รูป 5 ไดโอดเปล่งแสงโครงสร้างที่สอง มีชั้นขวางพาหะบวกแทรกระหว่างชั้นสารเปล่งแสงกับขั้วไฟฟ้าลบ ทำให้แสงที่เปล่งออกมาเต็มบริเวณเปล่งแสง

จะเห็นได้ว่าการทราบค่าระดับพลังงาน HOMO, LUMO, และ  $E_g$  มีประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับแต่งโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งนี้สำหรับไดโอดฯ โครงร่างที่สอง ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ ความเข้มของกระแส และความเข้มแสงที่เปล่งออกมาแสดงดังรูป 6 จะเห็นว่าไดโอดฯ ที่สร้างขึ้นมี turn-on voltage (นิยามว่าเป็นความต่างศักย์ที่ทำให้ไดโอดฯ เปล่งแสงเท่ากับ  $1 \text{ Cd/m}^2$ ) เท่ากับ 3.8 โวลต์ และแสงที่เปล่งออกมามีความสว่างสูงสุดมากกว่า  $1000 \text{ cd/m}^2$  (ค่าความสว่างของจอคอมพิวเตอร์โดยปกติอยู่ในช่วง  $100\text{-}150 \text{ cd/m}^2$ ) ผล

การวัดประสิทธิภาพของไดโอดฯ โครงร่างที่สองแสดงดังรูป 7 โดยพบว่าประสิทธิภาพกระแส (Current efficiency) เท่ากับ 4.8 cd/A ในขณะที่ประสิทธิภาพพลังงาน (Power efficiency) เท่ากับ 3.45 lm/w



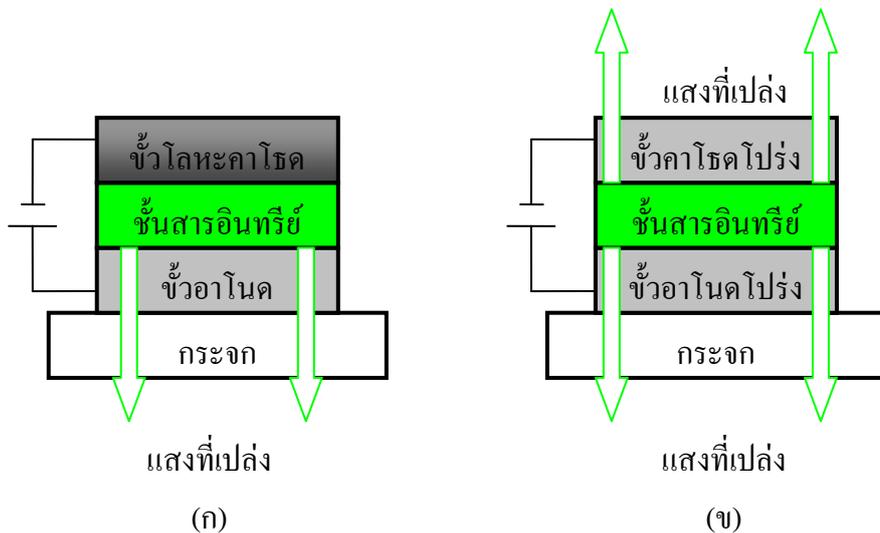
รูป 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส-ความต่างศักย์-ความสว่าง ของไดโอดเปล่งแสง โครงร่างที่สอง



รูป 7 แสดงประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงโครงร่างที่สอง

## การวิจัยสิ่งประดิษฐ์อินทรีย์เปล่งแสงด้วยวัสดุพอลิเมอร์

สารจำพวกคอนจูเกตโพลิเมอร์เป็นสารที่มีสมบัตินำไฟฟ้า และเปล่งแสงได้เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าเข้าไปค่าหนึ่ง ดังนั้นสารในกลุ่มนี้จึงมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์เปล่งแสงจากสารอินทรีย์(OLED) โดยอุปกรณ์แสดงผลชนิดนี้มีข้อได้เปรียบอยู่หลายประการเช่น สามารถขึ้นรูปให้มีความบางมากๆและมีความยืดหยุ่นสูงได้ ดังนั้นการพัฒนาจอแสดงผล OLED จึงกำลังเป็นที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในขณะนี้ อย่างไรก็ตามยังมีอุปสรรคอยู่หลายประการในการพัฒนาอุปกรณ์ OLED เช่น มีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้นและมีประสิทธิภาพการเปล่งแสงที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งปัญหาอย่างหลังนี้เป็นผลโดยตรงมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โพลิเมอร์ภายในชั้นฟิล์มบางของ OLED เนื่องจากสารคอนจูเกตโพลิเมอร์มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอ่อนๆแบบ  $\pi$ - $\pi$  interaction ทำให้มีแนวโน้มที่จะเข้าจับกันในสถานะของแข็ง ซึ่งการเข้าจับกันในแบบที่เรียกว่า aggregation มีผลทำให้สมบัติการเปล่งแสงเปลี่ยนไปและมีผลทำให้ประสิทธิภาพการเปล่งแสงลดลง นอกจากนี้การส่งถ่ายพลังงานและสมบัติการนำไฟฟ้ายังเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งทั้งหมดเป็นผลมาจากการซ้อนทับกันระหว่าง  $\pi$  ออร์บิทัลของสายโซ่โพลิเมอร์นั่นเอง จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าลักษณะการเข้าจับกันมีผลอย่างมากต่อสมบัติทางกายภาพของคอนจูเกตโพลิเมอร์ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้เกิดความเข้าใจพื้นฐานต่อพฤติกรรมการเข้าจับกันนี้ ซึ่งจะเป็ข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาเทคโนโลยี OLED และอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับสารในกลุ่มนี้



รูปที่ ๑ แสดงอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสง (ก) เปล่งแสงด้านล่าง (ข) เปล่งแสงด้านบนและล่าง

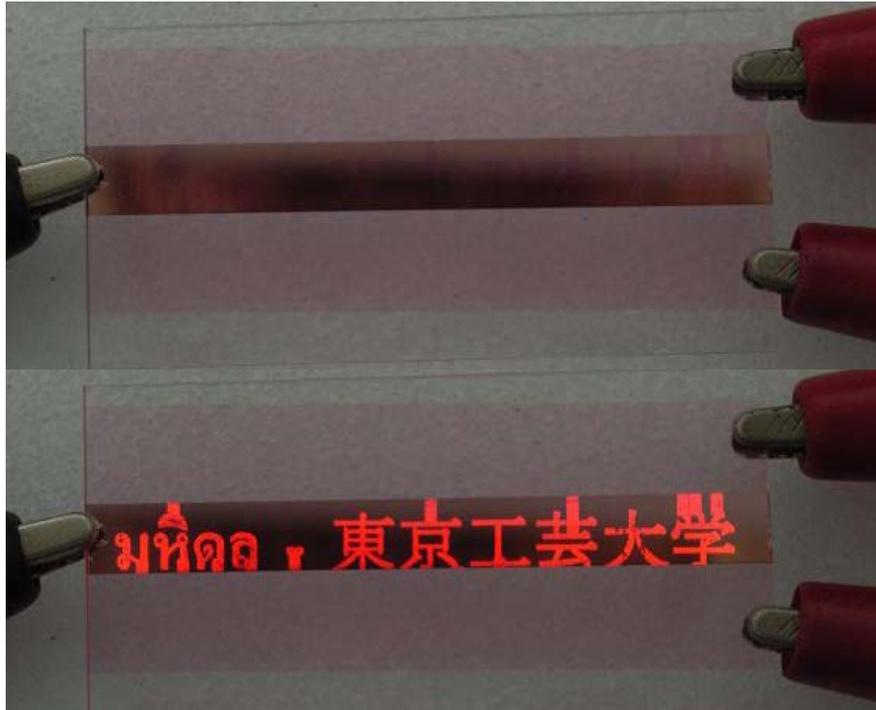
โครงสร้างของอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงแสดงดังรูปที่ ๑ เรียงจากด้านล่างขึ้น ประกอบด้วย ขั้วแอนโนด ชั้นสารอินทรีย์ และขั้วคาโทด อิเล็กตรอนที่ถูกจ่ายขั้วคาโทด ขณะที่โฮลที่ถูกจ่ายขั้วแอนโนด โดยขั้วและชั้นสารทั้งหมดมีความหนาช่วง ๑๐ - ๒๐๐ นาโนเมตร จะถูกเคลือบอยู่บนวัสดุฐานรอง

เช่น กระดาษ พลาสติก หรือแผ่นเวเฟอร์ อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงโดยทั่วไปที่เปล่งแสงด้านล่าง ๑(ก) จะใช้ขั้วแอโนดที่โปร่งแสง และใช้โลหะเช่น อะลูมิเนียม เป็นคาโทดทึบแสง หลังจากให้ความต่างศักย์แก่อุปกรณ์สูงกว่าความต่างศักย์ซีดเริ่ม อุปกรณ์เกิดการเปล่งแสง แสงที่ให้จะผ่านออกมาทางด้านขั้วแอโนด สีที่อุปกรณ์ได้ถูกกำหนดจากชั้นสารอินทรีย์ที่ใช้ในอุปกรณ์

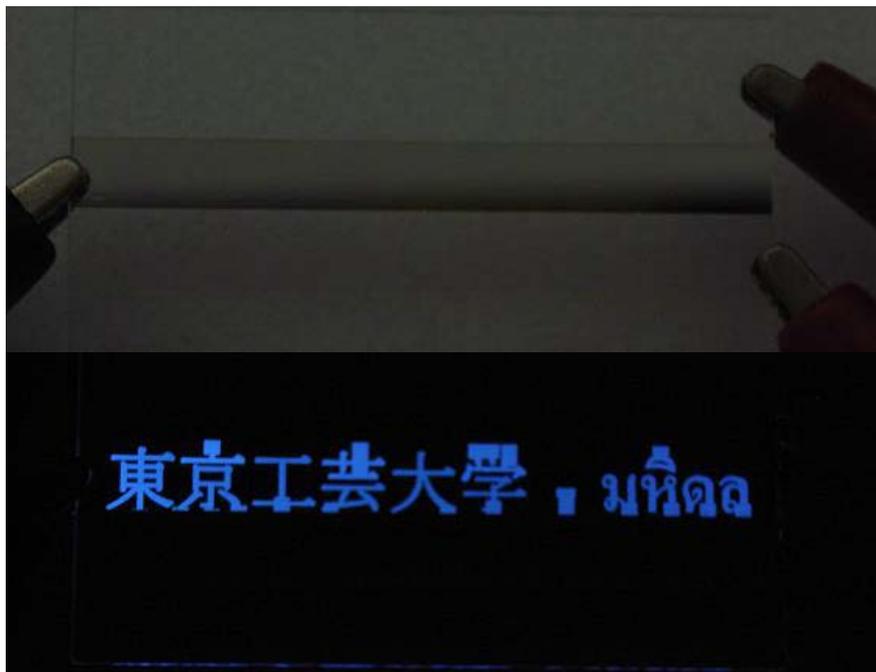
ตัวอย่างของอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงที่ได้แกะลวดลาย ชื่อ Tokyo Polytechnics University เป็นภาษาญี่ปุ่นและมหาวิทยาลัยมทิดลเป็นภาษาไทย สีเขียว สีแดง สีน้ำเงิน แสดงดังรูปที่ ๒ ๓ และ ๔ ตามลำดับ



รูปที่ ๒ อุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์สีเขียวแสดงชื่อมหาวิทยาลัย Tokyo Polytechnics University เป็นภาษาญี่ปุ่นและมหาวิทยาลัยมทิดลเป็นภาษาไทย (บน) เมื่อยังไม่จ่ายความต่างศักย์ (ล่าง) ขณะจ่ายความต่างศักย์



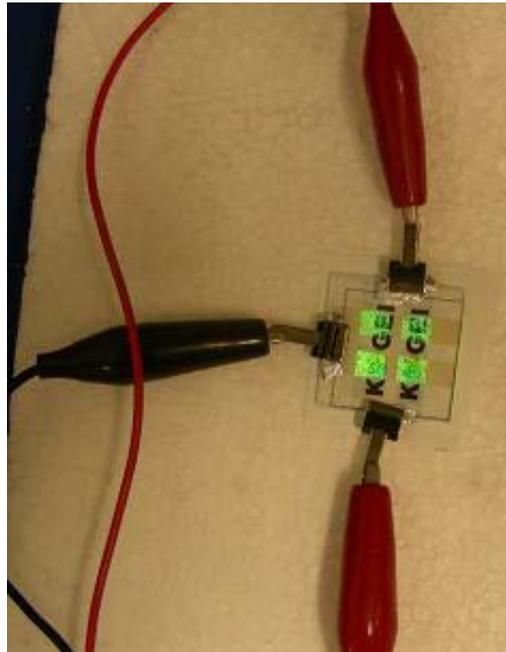
รูปที่ ๓ อุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์สีแดงแสดงชื่อมหาวิทยาลัย Tokyo Polytechnics University เป็นภาษาญี่ปุ่นและมหาวิทยาลัยมหิดลเป็นภาษาไทย (บน) เมื่อยังไม่จ่ายความต่างศักย์ (ล่าง) ขณะจ่ายความต่างศักย์



รูปที่ ๔ อุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์สีน้ำเงิน แสดงชื่อมหาวิทยาลัย Tokyo Polytechnics University เป็นภาษาญี่ปุ่นและมหาวิทยาลัยมหิดลเป็นภาษาไทย (บน) เมื่อยังไม่จ่ายความต่างศักย์ (ล่าง) ขณะจ่ายความต่างศักย์

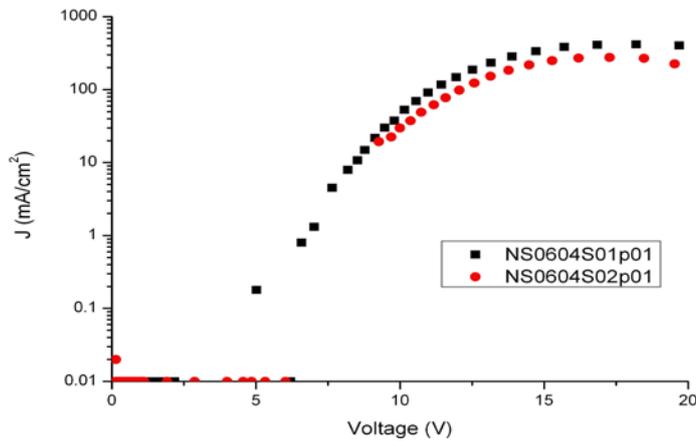
แนวโน้มของจอแสดงผลแบบแบนในปัจจุบันที่ต้องการ อุปกรณ์เปล่งแสงที่มีลักษณะตาราง โดยแต่ละตารางสามารถแสดงผลได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน หรือพร้อมกัน (Active matrix) อุปกรณ์

ดังกล่าวสามารถติดตั้งบนแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอน และ ประกอบเป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ความต้องการดังกล่าวถือเป็นขีดจำกัดที่ อุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์ที่เปล่งแสงทางด้านล่าง ไม่สามารถสนองตอบได้ การพัฒนาอุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์ที่เปล่งแสงทางด้านบน (รูปที่ ๑ (ข)) จึงเป็นทางออก ซึ่งต้องใช้ขั้วคาโรตที่โปร่งแสง รูปที่ ๕ แสดงอุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์ที่เปล่งแสงทางด้านบนขณะทำงาน ในการเดินทางไป มหาวิทยาลัย Tokyo Polytechnics University จึงได้เรียนรู้ และพัฒนาทักษะ ในการเคลือบฟิล์มบางโปร่งแสงเพื่อใช้เป็นขั้วคาโรต ไปพร้อมกันด้วย ทั้งนี้โดยอาศัยความร่วมมือระหว่างสองห้องปฏิบัติการ (Laboratory electric imaging and system electronics) รวมไปถึงการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดังกล่าวด้วย

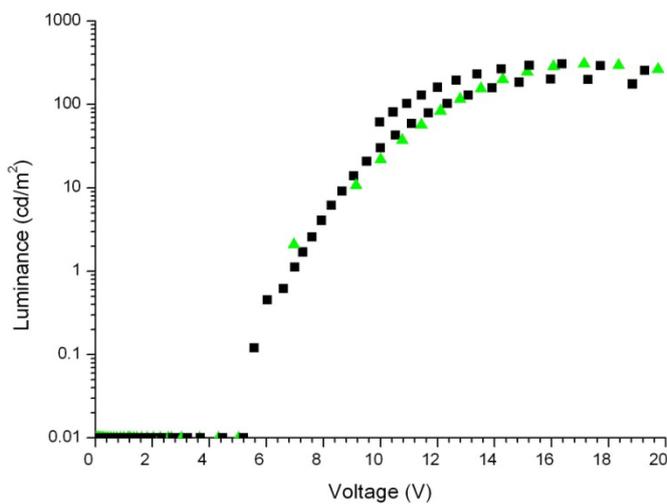


รูปที่ ๕ แสดงการเปล่งแสงของอุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์ เมื่อจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์

กระบวนการประกอบอุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์ ประกอบด้วยการเตรียมทำความสะอาดกระจกที่เคลือบด้วยขั้วคาโรต การกัดแบบขั้วคาโรต การเคลือบฟิล์มบางชั้นสารอินทรีย์ด้วยการระเหยด้วยความร้อนในสุญญากาศ และ ขั้นตอนสุดท้ายคือ การเคลือบฟิล์มบางขั้วโลหะคาโรตด้วยการระเหยด้วยความร้อนในสุญญากาศ สำหรับอุปกรณ์เปล่งแสงด้านล่าง หรือ การเคลือบฟิล์มบางขั้วคาโรต ด้วยการสปัตเตอร์สำหรับอุปกรณ์เปล่งแสงด้านบน จากนั้นจึงทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ รวมเวลาทั้งหมดประมาณ ๑๖ ชั่วโมง รูปที่ ๖ และ ๗ แสดงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ได้ ประสิทธิภาพการส่องสว่างของอุปกรณ์ ( $>100 \text{ mA/cm}^2$ ) นั้นเพียงพอต่อการนำไปใช้งานด้านแสดงผลได้ อย่างไรก็ตามคืออายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้น การพัฒนากระบวนการเพื่อยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้นยังเป็นสิ่งที่ต้องทำวิจัยกันต่อไป

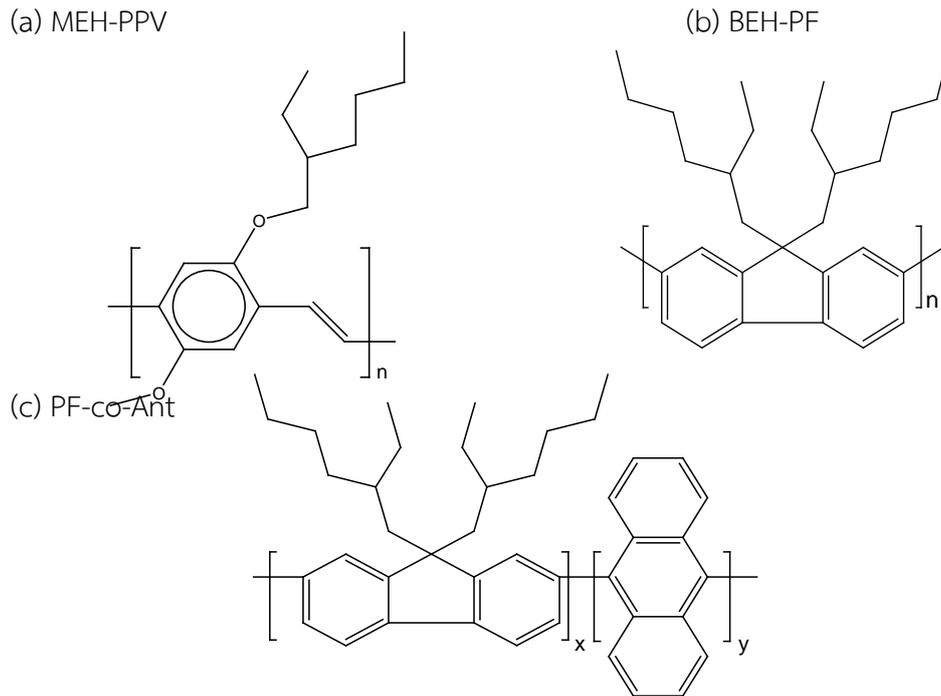


รูปที่ ๖ แสดงความเข้มการส่องสว่างของอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสง (ขั้นที่หนึ่ง) เป็นฟังก์ชันของความต่างศักย์ที่ป้อน

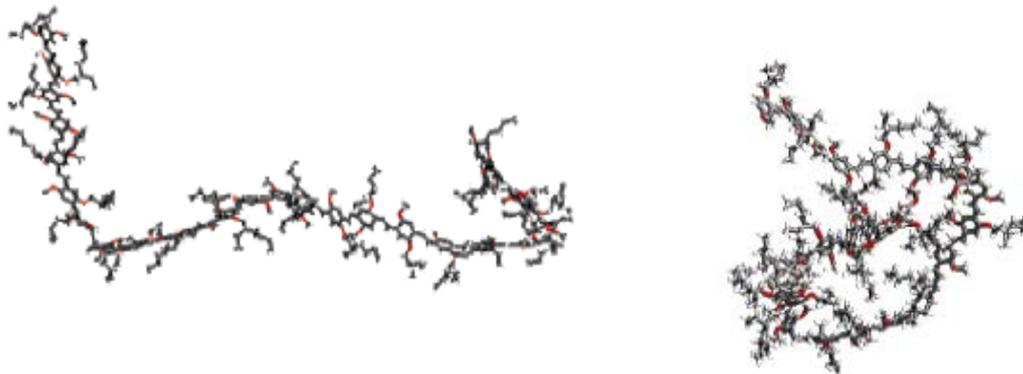


รูปที่ ๗ แสดงความเข้มการส่องสว่างของอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสง (ขั้นที่สอง) เป็นฟังก์ชันของความต่างศักย์ที่ป้อน

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(conformation) และโครงสร้าง(chemical structure)ของคอนจูเกตโพลิเมอร์ต่อสมบัติของ OLED ที่ได้ โดยจะทำการศึกษาในโพลิเมอร์จำนวน 2 กลุ่มคือ MEH-PPV และ BEH-PF ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ MEH-PPV สามารถทำได้ในสารละลายโดยการควบคุมแรงกระทำระหว่างโพลิเมอร์กับตัวทำละลาย ซึ่งในตัวทำละลายที่นั้น สายโซ่หลักของ MEH-PPV จะอยู่ในลักษณะที่ยืดออก ส่วนในตัวทำละลายที่ไม่ดีนั้น สายโซ่หลักของ MEH-PPV จะอยู่ในลักษณะที่หดตัวดังแสดงในรูปที่ 2



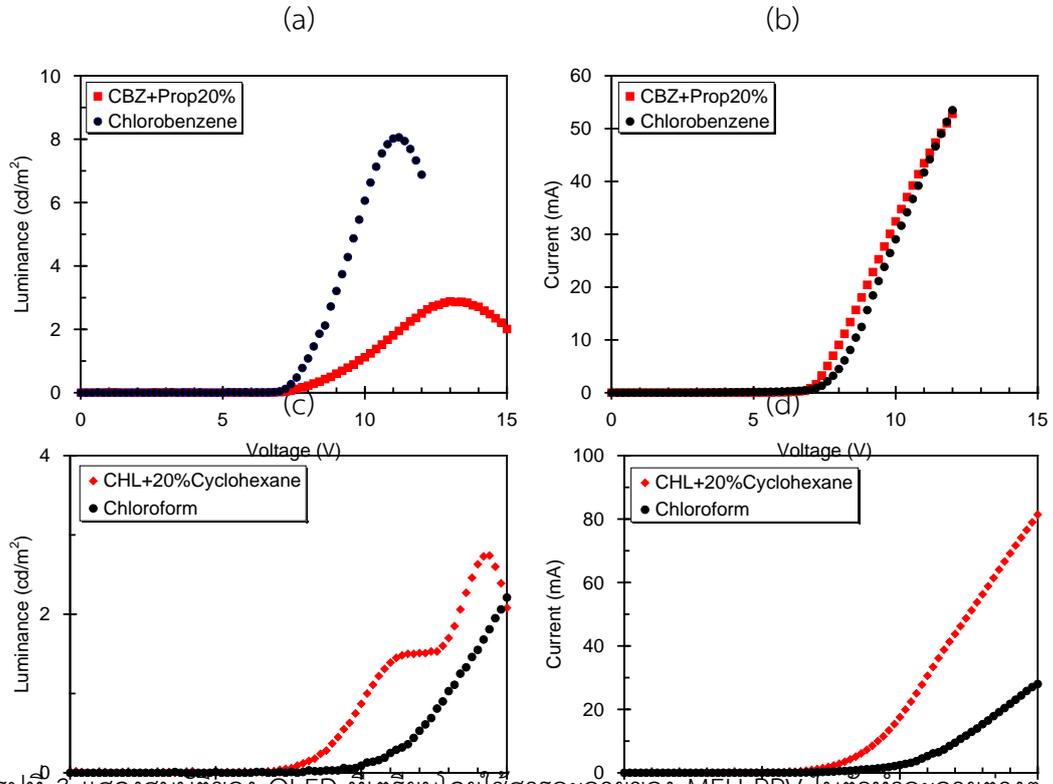
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของตัวอย่างคอนจูเกตโพลิเมอร์ที่ใช้ในการศึกษา (a) polyphenylene vinylene (MEH-PPV) (b) polyfluorene (BEH-PF) (c) polyfluorene-co-antracene (PF-co-Ant)



รูปที่ 2 แสดงลักษณะ conformation ของ MEH-PPV แบบยืดตัว (extended chain) ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน(ซ้าย) และแบบหดตัว (collapsed chain) ในตัวทำละลายโทลูอีน (ขวา)

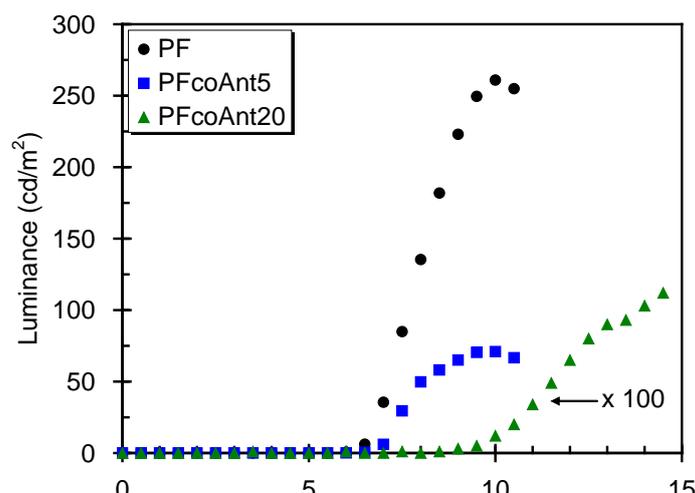
ในการศึกษานี้ได้ทำการขึ้นรูป OLED โดยใช้ตัวทำละลายแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลทำให้รูปร่างของสายโซ่ MEH-PPV เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย แล้วทำการศึกษาสมบัติของ OLED ที่ได้ ผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 สาร MEH-PPV ที่ละลายในตัวทำละลายคลอโรเบนซีนและคลอโรฟอร์มมีลักษณะรูปร่างแบบยืดออก เมื่อทำการเติมตัวทำละลายที่ไม่ดี(โพรพานอลและไซโคลเฮกเซน)เข้าไปในสารละลายทั้งสองระบบนี้จะมีผลทำให้สายโซ่หลักเกิดการหดตัว จากรูปจะเห็นได้ว่าสมบัติของ OLED ที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนขึ้นอยู่กับตัวทำละลายที่ใช้ ในระบบของคลอโรเบนซีนนั้น จะเห็นว่าการทำให้สายโซ่ MEH-PPV เกิดการหดตัวโดยการเติมตัวทำละลายโพรพานอล จะทำให้ OLED ที่

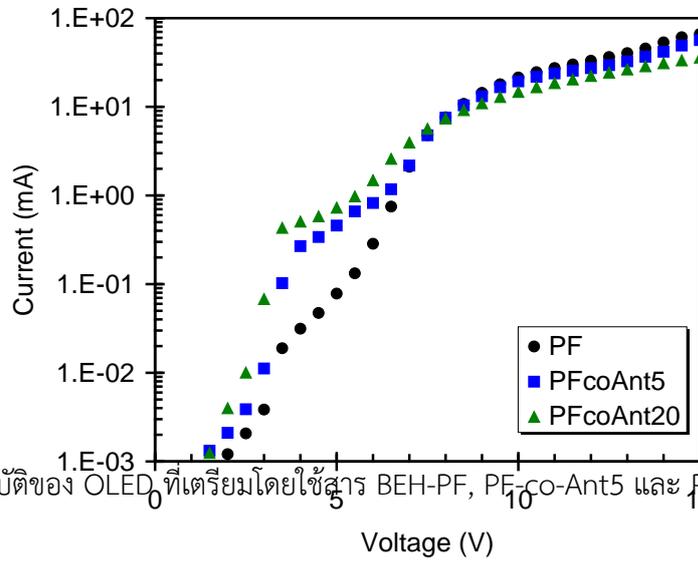
ได้เกิดการเปล่งแสงได้น้อยลง และมีสมบัติการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้นเล็กน้อย ส่วนในระบบของตัวทำละลาย คลอโรฟอร์มนั้น การทำให้สายโซ่หดตัวโดยการเติมไซโคลเฮกเซนเข้าไปในระบบ มีผลทำให้ OLED เกิดการเปล่งแสงได้ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำลง นอกจากนี้ยังทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าของ OLED ดีขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 3 แสดงสมบัติของ OLED ที่เตรียมโดยใช้สารละลายของ MEH-PPV ในตัวทำละลายต่าง ๆ (a,b) ตัวทำละลายคลอโรเบนซีนและตัวทำละลายผสมคลอโรเบนซีนกับโพพราน (c,d) ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มและตัวทำละลายผสมคลอโรฟอร์มกับไซโคลเฮกเซน

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโพลิเมอร์ต่อสมบัติของ OLED โดยทำการศึกษาในระบบของ BEH-PF และ PF-co-Ant (ดูรูปที่ 1) ผลการทดลองที่ได้ แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าการเติมหมู่แอนทราซีนเข้าไปในโครงสร้างของโพลิเมอร์มีผลทำให้ OLED ที่ได้เกิดการเปล่งแสงได้น้อยลง สำหรับสาร PF-co-Ant20 จะเห็นได้ว่า OLED มีการเปล่งแสงได้น้อยมาก และค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเปล่งแสงมีค่าค่อนข้างสูงอีกด้วย เมื่อพิจารณาสมบัติการนำไฟฟ้าของ OLED จะเห็นได้ว่า การเติมหมู่แอนทราซีนเข้าไปในโครงสร้างมีผลทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้า ได้ดีมากขึ้นที่ค่าความต่างศักย์ต่ำ ซึ่งผลในส่วนนี้น่าจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อสมบัติการเปล่งแสงที่เปลี่ยนแปลงไป ในการทดลองส่วนนี้ยังได้ทำการศึกษาปัจจัยอีกหลายอย่างที่มีผลต่อสมบัติของ OLED เช่น ผลของความหนาของฟิล์ม ผลของการอบฟิล์มที่อุณหภูมิต่างๆกัน





รูปที่ 4 แสดงสมบัติของ OLED ที่เตรียมโดยใช้สาร BEH-PF, PF-co-Ant5 และ PF-co-Ant30

## กิจกรรมการจัดประชุมเชิงวิชาการของนักวิจัยไทยและญี่ปุ่น

Date	Title of Symposium/Seminar	Place
21 ตุลาคม 2549	The 2 <sup>nd</sup> Symposium of Center for Hyper Media Research	Tokyo Polytechnic University, Atsugi Campus
21 ตุลาคม 2549	The 4 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	Tokyo Polytechnic University, Atsugi Campus
7 สิงหาคม 2550	The 5 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	National Metals and Material Technology Center
9 สิงหาคม 2550	The 6 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	Naresuan University
2 ตุลาคม 2550	The 7 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	Tokyo Polytechnic University, Atsugi Campus
31 ตุลาคม 2550	The 8 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	Tokyo Polytechnic University, Atsugi Campus
4 สิงหาคม 2551	The 9 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	National Metals and Material Technology Center
5 สิงหาคม 2551	The 10 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	Ubon Rachathani University
11 ตุลาคม 2551	The 11 <sup>th</sup> International Symposium on “Organic Light-Emitting Display and Their Materials”	Tokyo Polytechnic University, Atsugi Campus
15-17 กุมภาพันธ์ 2554	Asia Computational Material Design Workshop	Mahidol University
10 สิงหาคม 2554	Powder Electroluminescent Device based on Printing Technology	Mahidol University

year	Japanese researcher visiting	Thai researcher visiting
2005	2	1 <sup>st</sup> MTEC

		2 <sup>nd</sup> Mahidol Univ.		
2006	2	3 <sup>rd</sup> MTEC Chiang-Mai Univ.	6	4 <sup>th</sup> Tokyo Polytechnic Univ. FPD 2006
2007	3	5 <sup>th</sup> Mahidol Univ. 6 <sup>th</sup> Naresuan Univ.	4	7 <sup>th</sup> Tokyo Polytechnic Univ. 8 <sup>th</sup> Tokyo Polytechnic Univ. FPD 2007
2008	5	9 <sup>th</sup> MTEC 10 <sup>th</sup> Ubon-Rachathani Univ. The National Synchrotron Research Center	6	11 <sup>th</sup> Tokyo Polytechnic Univ.
2011	1	Powder Electroluminescent Device based on Printing Technology	1	Tokyo Polytechnic Univ.

# บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล

โครงการความร่วมมือระหว่างนักวิจัยไทย-ญี่ปุ่นนี้ ได้เปิดโลกทัศน์ให้นักวิจัยสามารถมองเห็นมุมมอง สาระสำคัญ ทิศทาง เป้าหมาย และกระบวนการทางความคิดในการดำเนินงานวิจัย ทั้งในแง่มุมมองของนักวิจัย อุตสาหกรรม และ สังคม งานวิจัยในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน โดยเฉพาะอุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบได้แสดงให้เห็นถึง กระบวนการพัฒนาวัสดุต้นแบบ ตลอดไปจนถึงการนำไปประกอบเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตจอแสดงผลในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ซึ่งการวิจัยมีผลกระทบโดยตรงต่ออุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และความต้องการของอุตสาหกรรมเองก็ส่งผลกลับมาสู่การวิจัยด้วย นอกจากนี้กิจกรรมของโครงการวิจัยในช่วงทำยนี้ ยังได้กระตุ้นให้ภาคอุตสาหกรรมการพิมพ์ในประเทศไทยได้ตระหนักถึงการก้าวกระโดดของเทคโนโลยีการพิมพ์ จากยุคการพิมพ์แบบสมาร์ทเข้าสู่ยุคการประยุกต์ใช้การพิมพ์ในการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนสิ่งพิมพ์

โครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่น ได้สร้างความสัมพันธ์เบื้องต้นอันดี ทั้งแก่นักวิจัยไทยและนักวิจัยญี่ปุ่น ในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานรองชนิดอ่อน จนได้มีผลงานวิจัยร่วมกัน และจัดให้มีการประชุมสัมมนาวิชาการร่วมกันกว่าสิบครั้ง จากความสัมพันธ์ที่ดีนี้ ได้มีแนวคิดร่วมกันในการวิจัยพัฒนาวัสดุอุปกรณ์สารอินทรีย์ ที่สามารถใช้ตรวจวัดโมเลกุลในอากาศด้วย ซึ่งเกิดจากความเข้าใจถึงศักยภาพพื้นฐาน และลักษณะโจทย์วิจัยที่มีในหน่วยวิจัยที่กลุ่มนักวิจัยในโครงการสังกัด อันเป็นดัชนีบ่งชี้ความสำเร็จของโครงการทั้งในปัจจุบันและความต่อเนื่องในการร่วมวิจัยและพัฒนาในอนาคตด้วย

กลุ่มนักวิจัยไทยและญี่ปุ่นในโครงการ ได้ตระหนักเห็นความสำคัญของการทำงานวิจัยร่วมกันเป็นช่วงระยะเวลายาว จึงจะเกิดงานวิจัยร่วมกันได้อย่างแท้จริง หลังจากการเยี่ยมชมและปรึกษาหารือในหัวข้อวิจัยที่สนใจร่วมกันเป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาจึงได้ให้นักวิจัยไทยในแต่ละหน่วยงานได้มีโอกาสเข้าร่วมทำงานวิจัยในห้องปฏิบัติการที่ประเทศญี่ปุ่น เป็นระยะเวลานานมากกว่าเดือนในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ และการดำเนินการวิจัยที่ต่อเนื่องในปริมาณที่มากพอ ซึ่งทำให้เกิดความเข้าใจและมีทักษะในเทคนิคต่าง ๆ และสามารถนำกลับมาประยุกต์ใช้ได้จริงในการวิจัยในแต่ละหน่วยงาน อีกทั้งการที่เมื่อนักวิจัยไปทำงานวิจัยในห้องปฏิบัติการวิจัยเป็นเวลานาน จะสามารถทำให้เกิดความเข้าใจ และความสัมพันธ์อันดี ทั้งต่อนักวิจัยและแก่การวิจัยของประเทศในภาพรวมด้วย

ด้วยการสนับสนุนจาก โครงการร่วมมือจากทั้งทางฝ่ายไทย และญี่ปุ่น มีการจัดประชุมสัมมนานานาชาติเชิงวิชาการ ทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนรวมถึง อุปกรณ์แสดงผลอินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบ จำนวน 11 ครั้ง เป็นการประชุมที่ประเทศไทย จำนวน 6 ครั้ง และที่ประเทศญี่ปุ่น จำนวน 5 ครั้ง โดยการประชุมในประเทศไทยมีจำนวนนักวิจัยชาวญี่ปุ่นเพิ่มขึ้นจาก 2 คน เป็น 3 คนและ 54 คน ตามลำดับ โดยสถานที่การประชุมได้มีจัดเวียนไปตามหน่วยงานต่าง ๆ ที่นักวิจัยสังกัดอยู่ ซึ่งได้มีการจัดสัมมนาที่ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ศูนย์โลหะและ

วัสดุแห่งชาติ และ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยกลุ่มนักวิจัยทั้งต่างในประเทศไทยและจากประเทศญี่ปุ่น ได้ร่วมปรึกษาและได้เยี่ยมชมศักยภาพการดำเนินงานวิจัยในกลุ่มวิจัยในหน่วยงานต่าง ๆ ทำให้เข้าใจถึงความสามารถในการทำงานและโจทย์วิจัย ที่แต่ละกลุ่มสนใจศึกษา ร่วมหาแนวทางการสนับสนุนความร่วมมือของแต่ละกลุ่มวิจัยให้มีศักยภาพในการวิจัย ทางด้านการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ให้สูงขึ้น การรวมกลุ่มนักวิจัยช่วยทำให้อุตสาหกรรมในประเทศ ตระหนักถึงศักยภาพของกลุ่มนักวิจัย ในการพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์บนแผ่นรองชนิดอ่อนได้ดีขึ้น

การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ ให้สามารถมีอายุการใช้งานที่ยาวนานได้ จำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการสร้างในที่สามารถควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนและความชื้น เมื่อประดิษฐ์อุปกรณ์เสร็จแล้ว จำเป็นต้องปิดอุปกรณ์ให้มิดชิดป้องกันการสัมผัสกับอากาศ ในห้องปฏิบัติการที่ประเทศญี่ปุ่น ได้มีการศึกษาเทคนิคการเตรียมโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์สารอินทรีย์ในระบบที่ได้สั่งทำ เพื่อควบคุมปริมาณก๊าซและความชื้น ได้มีการศึกษาเทคนิคการปิดอุปกรณ์ด้วยการพอลิเมอร์ด้วยแสงเหนือม่วง เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มนักวิจัยไทยได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ถูกเตรียมเป็นชั้นฟิล์มจะถูกทำลายได้ง่ายจากความร้อน จากการชนด้วยไอออนพลังงานสูง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการเตรียมขั้วโลหะไฟฟ้าโปร่งแสงที่สามารถลดการทำลายในระหว่างการเคลือบชั้นขั้วไฟฟ้า โดยนักวิจัยไทยได้ศึกษาปัจจัยและพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการลดการทำลายสมบัติการเปล่งแสงของชั้นสารอินทรีย์ เมื่อมีการเตรียมขั้วไฟฟ้าด้านบน โดยได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ประเทศญี่ปุ่น ได้เขียนผลงานวิจัยเสนอในวารสารนานาชาติที่มีผู้เชี่ยวชาญร่วมกันกับนักวิจัยญี่ปุ่นในโครงการนี้ นับเป็นความสำเร็จอย่างดีเยี่ยมที่สามารถมีผลงานจากการร่วมมือกันพัฒนาวิจัยอย่างจริงจัง

นอกจากนี้ได้มีการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์เปล่งแสงที่สังเคราะห์ได้ จากกลุ่มนักวิจัยไทย ไปประดิษฐ์เป็นโครงสร้าง OLED ที่ห้องปฏิบัติการในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเดิมในการสังเคราะห์โครงสร้าง OLED มักจะใช้สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลน้อยที่สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป ทำให้ได้ OLED ที่มีสมบัติต่างจากโครงสร้างเดิมที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการที่ญี่ปุ่นเดิม โดยได้มีการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้สารประดิษฐ์เป็นฟิล์มของอุปกรณ์

โดยทั่วไป จะยังไม่มีมีการเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บนแผ่นฐานรองชนิดอ่อนอย่างจริงจัง ด้วยการสนับสนุนของโครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่น กลุ่มวิจัยได้พัฒนากระบวนการเตรียมอุปกรณ์ OLED ให้สามารถประดิษฐ์ได้บนแผ่นฐานรองพอลิเมอร์ ที่เคลือบด้วยขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่สามารถงอพับได้ โดยได้ศึกษาพารามิเตอร์การเคลือบฟิล์มสารอินทรีย์ชั้นต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับแผ่นฐานรองพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูง และสามารถงอได้ ไม่แข็งเหมือนแผ่นฐานรองแก้ว โดยได้มีการประดิษฐ์เชิงอุปกรณ์อินทรีย์ที่เปล่งแสงเป็นสีต่าง ๆ ในรูปแบบเทรินที่ออกแบบสร้างขึ้นเอง ได้ทดสอบสมบัติการเปล่งแสงเมื่ออุปกรณ์ผ่านการโค้งงอหลายครั้ง เพื่อศึกษาสาเหตุของเสื่อมของอุปกรณ์เมื่อผ่านการโค้งงอ ซึ่งได้มีการพัฒนาในลำดับถัดไป

ความสัมพันธ์ระหว่าง นักวิจัยไทย และ นักวิจัยญี่ปุ่น ที่เข้มแข็งมากขึ้น หลังจากการสนับสนุนโดยโครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่น ทำให้เกิดการวิจัยพัฒนาร่วมกัน ในการพัฒนาอุปกรณ์อินทรีย์เพื่อการประยุกต์ใช้งานประเภทอื่นต่อไปด้วย ทั้งการประยุกต์ใช้สารอินทรีย์และ

สารอินทรีย์ในโครงสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เดียวกัน เพื่อนำข้อดีของแต่ละอุปกรณ์มาเพิ่ม ประสิทธิภาพ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ด้วย การที่กลุ่มนักวิจัยไทยมาจากหลากหลาย หน่วยงาน การขยายการเชื่อมความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ไปยังนักวิจัยรอบข้าง ของแต่ละหน่วยงาน อัน จะสังเกตเห็นได้ระหว่างการสัมมนาในที่ต่าง ๆ ทำให้การวิจัยผลิตภัณฑ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่น ฐานรองชนิดอ่อนนี้ สามารถขยายวงกว้างขึ้นในหน่วยงานวิจัยต่าง ๆ และ ในภาคอุตสาหกรรม การผลิต ที่จะเกิดความเชื่อมั่น ในศักยภาพของการวิจัยทางด้านนี้ จากการรวมตัวเป็นกลุ่มก่อนด้วยการ สนับสนุนในโครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่นนี้ด้วย

จากการศึกษาในโครงการจะพบความแตกต่างของความสัมพันธ์ของกลุ่มวิจัยในหน่วยงาน การศึกษาวิจัยกับภาคอุตสาหกรรมผลิต ในประเทศญี่ปุ่น และ ประเทศไทย เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความร่วมมือในการร่วมพัฒนาของภาคอุตสาหกรรม และหน่วยงานการศึกษา โดยภาคอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่นได้ให้ความสำคัญอย่างมากต่อการวิจัยและพัฒนา นำศักยภาพ การวิจัยในหน่วยงานการศึกษามาใช้อย่างมีประสิทธิภาพได้เป็นอย่างดี ในทำนองเดียวกันฝ่าย การศึกษาได้ติดต่อประสานงานร่วมกับทางภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง และต่างก็ไว้วางใจซึ่งกัน และกัน มีการสนับสนุนซึ่งกันและกัน ทั้งในรูปการให้ทุนวิจัยสนับสนุนและการฝึกพนักงานให้มี ความเข้าใจ และมีทักษะในเทคนิคใหม่ ๆ ที่มีการค้นพบ เหล่านี้เป็นผลเกื้อหนุนให้เกิดความสำเร็จ ที่ยั่งยืนของการวิจัยและพัฒนาด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในประเทศญี่ปุ่น

ในกลุ่มนักวิจัยในโครงการร่วมไทย-ญี่ปุ่นนี้ นอกจากจะประกอบด้วยนักวิจัยที่มีความ เชี่ยวชาญทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์เปล่งแสงแล้ว ยังมีนักวิจัยที่ทำงานเกี่ยวข้องใน ด้านต่าง ๆ ด้วย อาทิเช่น การเตรียมขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง การเตรียมอุปกรณ์เปล่งแสงจากสาร อินทรีย์ การเคลือบสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง การเตรียมอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์เพื่อเป็น หัวตรวจวัดโมเลกุล เหล่านี้ทำให้การปรึกษาหารือในโครงการได้มีแนวคิดในความร่วมมือการทำงาน การวิจัยต่อเนื่อง ในการประยุกต์ใช้ความชำนาญเฉพาะด้านในด้านอื่น ๆ มาผนวกร่วมกัน ตั้งแต่การใช้ โครงสร้างชั้นสารอินทรีย์นี้ประยุกต์ใช้กับหัวตรวจวัดโมเลกุล ความร่วมมือในการวิจัยในหัวข้อต่าง ๆ เหล่านี้ จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลย หากปราศจากความสนับสนุนภายใต้โครงการความร่วมมือไทย- ญี่ปุ่นนี้ จึงถือได้ว่าโครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่นนี้ เป็นการสร้างความสัมพันธ์เบื้องต้น ให้เกิด ความร่วมมือด้านการศึกษาวิจัยพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แผ่นฐานรองชนิดอ่อนต่อไปในอนาคตด้วย

โครงการ bilateral นี้เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างห้องปฏิบัติการของกลุ่มวิจัย เครือข่ายของทางประเทศไทยที่ประกอบไปด้วยกลุ่มนักวิจัยที่ทำงานวิจัยทางด้าน Organic Light Emitting Diodes (OLEDs) ที่ประกอบไปด้วยนักวิจัยที่ดำเนินการวิจัยทางด้านนี้มาแล้วจาก มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ศูนย์วิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และ มหาวิทยาลัยมหิดล มารวมตัวกันกับทาง Tokyo Polytechnic University ที่เป็นโครงการที่ได้รับการ สนับสนุนจาก JSPS และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เป็นโครงการวิจัยที่เป็นลักษณะ การทำงานแบบบูรณาการโดยมีทีมงานจากห้องปฏิบัติการวิจัยต่างๆมาทำงานร่วมกัน ธรรมชาติของ โครงการนั้นจัดได้ว่าเป็นโครงการในลักษณะบูรณาการ ที่มุ่งเน้นการพัฒนา Flexible Organic Light

Emitting Diodes (OLEDs) ที่การตั้งปัญหาวิจัยไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีแกน (core technology) คือ

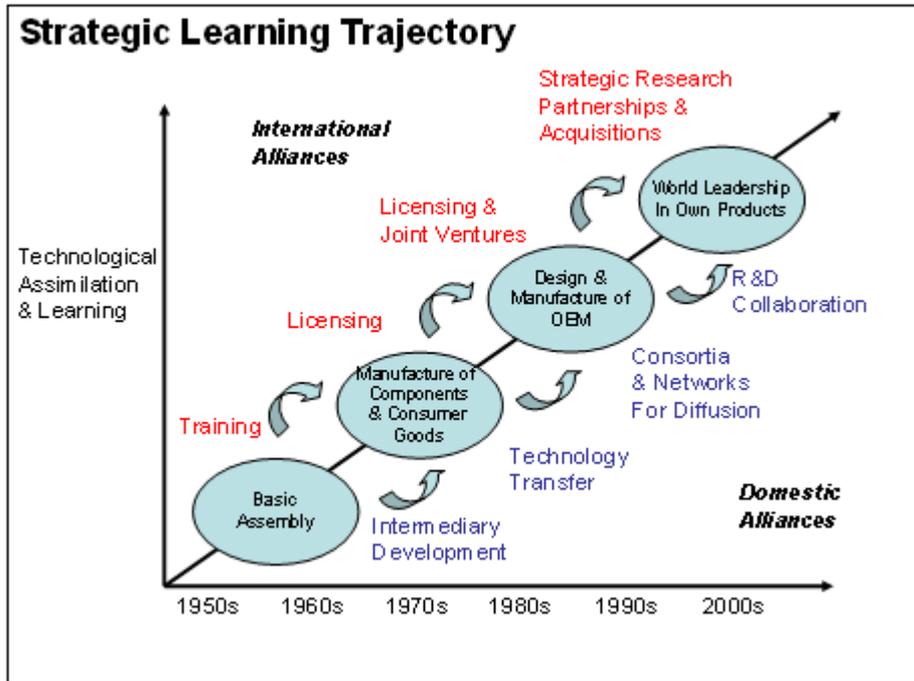
-การสร้างขั้วไฟฟ้าที่โปร่งแสง (transparent electrode) ที่จะทำให้ได้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและง่ายต่อการผลิต

-การเตรียมวัสดุเปล่งแสงที่เป็นการสังเคราะห์สารใหม่ๆเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์

-การสร้างอุปกรณ์เปล่งแสงให้มีโครงสร้างในลักษณะต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

-การวัดคุณภาพของอุปกรณ์ที่สร้างได้

สิ่งหลักที่นำให้ความสนใจ คือ การที่โครงการนี้สามารถได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงาน JSPS นั้นเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาและศึกษาเพราะเกี่ยวข้องกับระดับเชิงนโยบายของการคัดเลือกโครงการเพื่อให้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานหรือการกำหนดทิศทางของงานวิจัย การเลือกโจทย์วิจัยของทีมงานนั้นจัดเป็นโจทย์วิจัยที่ผลลัพธ์ของโครงการนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับงานพัฒนาประเทศและมีผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ นั้นเป็นหลักประกันที่สำคัญในมุมมองของผู้ให้ทุนเนื่องจากเป็นการใช้เงินภาษีของราษฎรมาใช้ เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นนั้นมีอุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่เข้มแข็งและสามารถรองรับหรือใช้ประโยชน์ของโครงการทั้งในด้านทางตรงและทางอ้อมได้อย่างเต็มที่ นั้น คือ หากการพัฒนาเทคโนโลยีประสบความสำเร็จก็จะมีอุตสาหกรรมหลักที่รองรับอยู่แล้ว หรือหากการพัฒนาเทคโนโลยีนั้นไม่สำเร็จตามที่คาดการณ์ไว้บรรดาคณาจารย์หรือนักวิจัยที่จัดเป็นผลพลอยได้ของโครงการนั้นก็ได้รับการพัฒนาทักษะรวมถึงความรู้ความสามารถที่จะออกไปทำงานในอุตสาหกรรมอุปกรณ์จอแสดงผลได้โดยที่สามารถที่จะช่วยประหยัดเงินตราให้กับทางอุตสาหกรรมในกระบวนการของการพัฒนาบุคลากร รวมถึงการที่ทางอุตสาหกรรมนั้นจะได้บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในเชิงเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับความต้องการหรือทิศทางทางการดำเนินการของบริษัท ซึ่งทำให้อดคิดไม่ได้ถึงการที่จะนำทิศทางนี้มาเปรียบเทียบกับการดำเนินการในประเทศไทย



รูปแสดงโมเดลของการพัฒนาของเทคโนโลยี (Reference จาก M. Dodgson, J. Mathews, T. Kastelle, The evolving role of research consortia in east asia, <http://www.innovation-enterprise.com/8.1/8.1.research-consortia.html>)

หากพิจารณาจากโมเดลของการพัฒนาของเทคโนโลยี ที่เสนอไว้โดย M. Dodgson, J. Mathews, T. Kastelle จะพบว่าการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีของประเทศไทยนั้นหากมีการแบ่งแยกลักษณะของเทคโนโลยีที่เราเกี่ยวข้องนั้นสามารถแยกการพิจารณาออกเป็น 2 กรณีหลักคือ

ก) กรณีที่เป็นอุตสาหกรรมที่มีลักษณะเป็น high tech นั้นเราจะมีเกี่ยวข้องอยู่ในรูปแบบของ Manufacture of components and consumer goods หรือเป็นฐานสำหรับการผลิตหรือประกอบชิ้นส่วนเท่านั้น โดยที่หัวใจของการดำเนินการทั้งหมดนั้นยังคงอยู่กับบริษัทแม่ในต่างประเทศ โดยที่เรานั้นถูกอาศัยเป็นเพียงฐานของการผลิต จะเห็นว่าในส่วนนี้เรานั้นตามหลังนานาประเทศอยู่ 30 ปี หรือ 1 generation หากมองโลกในแง่ที่ดีแล้วเรายังสามารถที่จะติดตามต่างชาติทันในรุ่นลูกของเรา หากเราสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศทั้งในด้านการพัฒนาการศึกษาควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรม

ข) สำหรับอุตสาหกรรมในส่วนที่ไม่อาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง เช่น เฟอร์นิเจอร์ เราจะอยู่ในขั้นของ Design & manufacture of OEM

ซึ่งจะพบว่าการเลือกหัวข้อวิจัยและพัฒนานั้นมีความสำคัญยิ่งที่จะต้องเลือกตำแหน่งและวางแผนการดำเนินการวิจัยให้สอดคล้องกับความต้องการของประเทศ หรือสามารถต่อยอดออกไปได้ ซึ่งโครงสร้างเช่นนี้ควรที่จะมีการคำนึงถึงให้มากในการให้ทุนต่างๆของหน่วยงานในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาโอกาสที่ประเทศไทยน่าที่จะมีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีจอสแสดงผล คงไม่พ้นโอกาสของการที่จะได้เป็นฐานการผลิตให้กับบริษัทต่างชาติ แต่ตำแหน่งคงถูกแย่งไปได้ยากในอดีตแต่ในอนาคตนั้นอาจเป็นการยากที่เราจะยังคงรักษาตำแหน่งนี้ไว้ได้เพราะทางประเทศจีนนั้นมี

ความเจริญก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งมีความสามารถในเชิงเทคโนโลยีที่สูงกว่าประเทศไทย และมีแรงงานที่ถูกกว่า สิ่งที่น่าสนใจ คือ การเราหันมาเรียนรู้เทคโนโลยีและทำการผลิตเทคโนโลยีนี้ใช้สำหรับการบริโภคภายในประเทศทดแทนการนำเข้า เพราะอุปกรณ์นี้ที่จะมาเป็นอุปกรณ์หลากหลายอย่างรอบตัวเราในอนาคต เช่น จอแสดงผล จอ TV และอื่นๆ เพราะการลงทุนในสายการผลิตเทคโนโลยีนี้ใช้เงินไม่สูงเหมือนกับโรงงาน semiconductor หรือทางการเตรียมความพร้อมทางด้านบุคลากรก็เป็นอีกด้านที่มีความสำคัญเพราะจะเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกข้อหนึ่งในการเตรียมความพร้อมสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมทางด้านนี้ สำหรับอีกคำถาม คือ ทิศทางของทางด้านสถาบันการศึกษานั้นจะเป็นอย่างไร ตามที่ได้เรียนในข้างต้นแล้วว่าที่มทาง Tokyo Polytechnic University นั้นเป็นตัวอย่างที่ดีในการสร้างทีมงานวิจัยแบบบูรณาการเราคงต้องเร่งสร้างกลุ่มวิจัยมารองรับเทคโนโลยีเหล่านี้

อุปกรณ์แสดงผลชนิด OLEDs นี้จะเป็นเทคโนโลยีที่จะ emerge ขึ้นมาในเร็ววัน ประเทศไทยคงจะต้องมีการเตรียมการทางด้านพื้นฐานทางนี้ไว้เพราะอีกไม่นานโรงงานผลิตเหล่านี้ที่ว่าจะแพร่ขยายลงมาถึงประเทศไทย ทั้งทางด้าน display ขนาดเล็กและ TV ที่มีขนาดใหญ่ หากไม่พร้อมหรือเทคโนโลยีพื้นฐานไม่มีแล้วการลงทุนนั้นก็คงจะผ่านประเทศเราไปสู่ที่ที่มีความพร้อมมากกว่า โดยที่ภาครัฐน่าจะสร้างและเลี้ยงกลุ่มวิจัยต่างๆไว้ โดยมีเงื่อนไขในการสร้าง infrastructure หรือ core technology ที่สำคัญสำหรับการรองรับอุตสาหกรรม เช่น เทคนิคทางด้าน high vacuum เทคนิค high precision machining เทคนิคทางด้านการวัดและตรวจสอบ โดยที่กลุ่มต่างๆเหล่านี้จะต้องถูกรักษาในสภาพที่พร้อมตลอดเวลา คือ การมีผลงานในระดับมาตรฐานนานาชาติอย่างต่อเนื่อง และมีการสร้างบุคลากรที่มีคุณภาพออกมาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับอนาคต

ในโครงการวิจัยนี้นักวิจัยไทยทุกคนที่เดินทางไปได้มีสาขาวิจัยหลักเป็นของตัวเอง เพราะต่างก็อยู่ในระบบการศึกษามานานพอที่จะมีกลุ่มวิจัยเป็นของตนเองและมีขอบเขตงานวิจัยอยู่แล้ว การไปวิจัยแม้จะเป็นในระยะสั้นแต่ก็มีประโยชน์เป็นอย่างมากเพราะนักวิจัยทุกคนนั้นมีสิ่งที่ตนเองศึกษาและติดตามอยู่แล้วการไปในลักษณะนี้ก็สามารถช่วยแก้ข้อติดขัดทางเทคนิค เพื่อมาปรับใช้ในงานวิจัยในห้องปฏิบัติการในประเทศไทย รวมถึงการร่วมกันไปปรับรายละเอียดของการทดลองและกระบวนการวิจัยเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพงานวิจัยในประเทศประเทศไทยและมีประโยชน์สูงสุดต่อประเทศชาติ

ในระหว่างการดำเนินโครงการวิจัยร่วมไทย-ญี่ปุ่นนี้ ได้พบความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้น เนื่องจากช่วงเวลาการอนุมัติโครงการของฝ่ายประเทศไทย และทางประเทศญี่ปุ่น จะไม่ตรงกัน ทำให้การใช้เงินสนับสนุนไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ ต้องมีการสำรองการใช้เงินจากหน่วยงานวิจัย อย่างไรก็ตามทั้งกลุ่มนักวิจัยไทยและกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นได้เข้าใจสถานการณ์ และช่วยกันแก้ปัญหาด้านการจัดการให้ผ่านพ้นไปได้อย่างดี อีกทั้งการสนับสนุนด้านค่าใช้จ่ายวัสดุที่ใช้ในระหว่างทำการวิจัยทั้งในประเทศและในประเทศญี่ปุ่น ต่างได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดี จากกลุ่มนักวิจัยในแต่ละหน่วยงานนั้น จนสามารถมีผลงานวิจัยเป็นผลสำเร็จจุล่งลงได้เป็นอย่างดี จึงขอขอบคุณความร่วมมือและการสนับสนุนจากหน่วยงานต่างๆ ในการช่วยจัดประชุมสัมมนาให้เกิดการปรึกษาหารือ และการร่วม

สนับสนุนการวิจัยในโครงการวิจัยร่วมนี้เป็นอย่างดี จนโครงการสามารถประสบความสำเร็จได้ และเกิดความสัมพันธ์อันดี ระหว่างกลุ่มนักวิจัยไทยและระหว่างกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่น สุดท้ายขอขอบคุณหน่วยงานสนับสนุนการวิจัยในประเทศญี่ปุ่นที่ช่วยสนับสนุนกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นให้ได้เดินทางมาประเทศไทย และอนุญาตให้นักวิจัยไทย ได้มีโอกาสเข้าทำการวิจัยในห้องปฏิบัติการในประเทศญี่ปุ่น เป็นผลให้เกิดการเรียนรู้ซึ่งกันและกัน ซึ่งสามารถสานต่อความร่วมมือวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคตด้วย

จากการที่ช่วงระยะเวลาของการอนุมัติรับทุนวิจัยจากของกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นที่ร่วมในโครงการและกลุ่มวิจัยไทยมีการเลื่อนกันของช่วงเวลา ซึ่งทำให้นักวิจัยไทยที่เดินทางไปประเทศญี่ปุ่นจะไม่ได้รับการสนับสนุนโดยตรงจากทุนนี้และนักวิจัยญี่ปุ่นที่จะเดินทางมาประเทศไทยก็จะไม่ได้รับการสนับสนุนโดยตรงจากทุนนี้ทางฝั่งญี่ปุ่น แต่ด้วยความร่วมมือเป็นอย่างดีในระยะเวลาที่สามปีที่ผ่านมา นักวิจัยไทยและญี่ปุ่นได้ใช้ทุนการสนับสนุนจากส่วนอื่นมาสมทบทำให้ได้มีการเดินทางแลกเปลี่ยนและปรึกษาหารือหัวข้อวิจัยที่สนใจร่วมกันในอนาคตได้ ในช่วงระหว่างที่นักวิจัยไทยได้เดินทางไปทำวิจัยที่ห้องปฏิบัติการในประเทศญี่ปุ่น ได้เกิดคลื่นซินามิในวันที่ 11 มีนาคม 2554 ทำให้นักวิจัยต้องเดินทางกลับประเทศไทย อย่างไรก็ตามนักวิจัยสามารถดำเนินการวิจัยต่อได้ที่ห้องปฏิบัติการในประเทศไทยและติดต่อขอคำแนะนำจากนักวิจัยญี่ปุ่นได้

ด้วยความร่วมมือเป็นอย่างดีในระยะเวลาที่สามปีที่ผ่านมา นักวิจัยไทยและญี่ปุ่นได้มีความเข้าใจกันทั้งทางด้านความเชี่ยวชาญเชิงเทคนิค วิชาการ ทรัพยากร เครื่องมือ และบุคลากร ทำให้กลุ่มนักวิจัยสามารถดำเนินความร่วมมือกันต่อไปได้ และสามารถขยายขอบข่ายความร่วมมือไปยังกลุ่มต่างๆ ในทั้งสองประเทศนี้ได้ดังจะเห็นได้จากความร่วมมือกับกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นด้านการคำนวณ และการสร้างความตระหนักของเทคโนโลยีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ให้แก่กลุ่มอุตสาหกรรมการพิมพ์ในประเทศไทย

# บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยและพัฒนาทางด้านจอภาพแบนแสดงผลในประเทศญี่ปุ่นได้เจริญก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะที่มหาวิทยาลัยโพลีเทคนิคโตเกียวได้มีการวิจัยพัฒนาทางด้านฟิล์มภาพถ่ายและเทคโนโลยีการแสดงผลของมีเดียมาเป็นเวลาถึง 80 ปี โดยอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงเป็นอุปกรณ์แสดงผลในยุคใหม่ที่ศาสตราจารย์ Uchida ได้สามารถคิดค้นประดิษฐ์อุปกรณ์แสดงผลแบบทะลุผ่านที่ก่อให้เกิดเป็นครั้งแรกในโลก ซึ่งเมื่อมีการเปล่งแสงวัสดุจะไม่ยอมให้แสงผ่าน และสามารถทำให้แสดงเห็นเป็นสีต่าง ๆ ที่ต้องการได้โดยซ้อนชั้นสีแดง เขียวและน้ำเงินได้เป็นผลสำเร็จ ในขณะที่ศาสตราจารย์ Sawada ได้พัฒนาข้าวไฟฟ้าที่ยอมให้แสงผ่านได้ด้วยคุณสมบัติที่มีสภาพต้านทานต่ำที่สุดด้วยวิธีการเตรียมที่ง่ายและราคาถูก และศาสตราจารย์ Hoshi ได้พัฒนาการเคลือบข้าวไฟฟ้าลงบนแผ่นพลาสติก เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงการประสบความสำเร็จของกลุ่มนักวิจัยในศูนย์ Hyper media ในมหาวิทยาลัยนี้

ในขณะที่รัฐบาลไทยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการวิจัยและพัฒนาทางนาโนเทคโนโลยี กลุ่มนักวิจัยที่มหาวิทยาลัยมหิดล จึงได้รวมกันตั้งเป็นหน่วยสร้างเสริมศักยภาพทางนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีขึ้นเป็นหน่วยวิจัยแรกทางนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย ได้มีการร่วมมือกันทำวิจัยทางด้านนาโนชีวภาพ วัสดุนาโนและนาโนอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้เริ่มวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงทั้งทางด้านการสังเคราะห์วัสดุและการประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้เข้าใจการสร้างวัสดุนาโนและการทำงานของอุปกรณ์โมเลกุลในระดับนาโนเมตร ทางหน่วยวิจัยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยโครงการนี้จากศูนย์วิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติเป็นเวลาสามปี และสามารถประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงให้สามารถเปล่งแสงเป็นสีแดง เขียว และฟ้าในรูปแบบเป็นตัวอักษรและแพทเทิร์นตามต้องการได้ โดยได้เริ่มพัฒนาจากการศึกษาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของโมเลกุลเปล่งแสงสีต่าง ๆ การพัฒนาวิธีการสังเคราะห์สาร การพัฒนาเทคนิคการประดิษฐ์อุปกรณ์ และการตรวจวัดสมบัติและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ในการนี้คณะผู้วิจัยได้ร่วมดำเนินการวิจัยกับ นักวิจัยของศูนย์โลกและวัสดุแห่งชาติในการสังเคราะห์วัสดุและการเตรียมข้าวไฟฟ้าโปร่งใส และต่อมาได้มีนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีได้พัฒนาสารอินทรีย์เปล่งแสงแบบสายโพลิเมอร์สั้น และ นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ได้ร่วมมือกันดำเนินการวิจัยศึกษาการจัดเรียงตัวของ สายโซ่โมเลกุล โพลิเมอร์

การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนจากโมเลกุลสารอินทรีย์นั้น จำเป็นต้องมีความร่วมมือกันจาก นักเคมีในการออกแบบสังเคราะห์โมเลกุล นักฟิสิกส์ในการวัดและอธิบายสมบัติของสารแต่ละชั้นในสิ่งประดิษฐ์ และวิศวกรในการประกอบกันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สถานะภาพการวิจัยสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ในประเทศ ยังคงจะกระจายแยกส่วนกันอยู่ ทำให้เมื่อนักเคมีสังเคราะห์สารใหม่ ที่น่าจะมีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้ทำอุปกรณ์ ไม่สามารถตรวจสอบยืนยันการใช้สมบัติสารเหล่านั้นได้อย่างแท้จริง นักฟิสิกส์ไม่สามารถกำหนดสร้างสารให้มีลักษณะที่จะสามารถอธิบายการนำไฟฟ้า และสมบัติทางแสง เพื่อประกอบเป็นโครงสร้างอุปกรณ์จากโมเลกุลอินทรีย์ได้ ในขณะที่วิศวกรที่สามารถสร้างแพทเทิร์นในโครงสร้างอุปกรณ์ได้ หากแต่ไม่มีความเข้าใจในสารอินทรีย์ที่นำไปใช้ เหล่านี้จึงไม่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ให้ดีขึ้นได้มากนัก ที่สำคัญการวิจัยในประเทศโดยเฉพาะอย่าง

ยิ่งทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังมีช่องว่างของการพัฒนา ในหน่วยวิจัยและหน่วยงาน  
อุตสาหกรรมเอกชน ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการด้านการตลาดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว  
เทคโนโลยีในการผลิตมีการปรับตัวตามอย่างรวดเร็ว การนำเทคนิคใหม่มาประยุกต์ใช้โดยไม่มีความ  
เข้าใจพื้นฐานจากการวิจัยเบื้องต้นมาสนับสนุน ทำให้อุตสาหกรรมต้องพึ่งพิงเทคโนโลยีและความรู้  
จากภายนอกประเทศตลอดเวลา

โครงการวิจัยที่มีความร่วมมือจากกลุ่มวิจัยหลากหลายทั้งภายในและภายนอกประเทศ จะทำ  
ให้เกิดการร่วมมือปรึกษาในโจทย์วิจัยร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดผลสำเร็จที่เป็นรูปธรรม  
ในเชิงผลิตภัณฑ์ มากกว่าการกระจาย การดำเนินการวิจัยแบบแยกส่วน โดยไม่คำนึงถึงสิ่งที่ต้องนำ  
ผลของแต่ละส่วนมาประกอบกันจริง ความร่วมมือกันของกลุ่มวิจัยต่าง ๆ ในการร่วมกันพัฒนา  
สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์นี้ จำเป็นต้องประกอบด้วย กลุ่มวิจัยนักเคมีอินทรีย์ที่มีศักยภาพในการ  
ออกแบบและสังเคราะห์โมเลกุลให้มีฟังก์ชันการทำงานตามต้องการ กลุ่มวิจัยนักเคมีฟิสิกส์ที่เข้าใจ  
การจับรวมตัวของสารอินทรีย์ในการสร้างเป็นชั้นฟิล์ม กลุ่มนักวิจัยทางฟิสิกส์ที่มีศักยภาพในการ  
สร้างชั้นขั้วไฟฟ้าที่มีสมบัติทางแสงตามที่กำหนด โดยจะต้องไม่ทำลายสารอินทรีย์ที่ละลายตัวได้ง่าย  
มีความเข้าใจในกลไกการนำไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของแต่ละชั้นในโครงสร้างของอุปกรณ์ อีกทั้ง  
กลุ่มนักวิจัยวิศวกรที่สามารถประกอบชิ้นฟิล์มต่าง ๆ และวัดสมบัติรวมของอุปกรณ์เพื่อตรวจวัด และ  
หาจุดเหมาะสมที่ทำให้อุปกรณ์ประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งยังสามารถแบบโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่  
ปกป้องไม่ให้มีแก๊ส หรือ ความชื้นภายนอก ไปทำลายสมบัติของสารอินทรีย์ให้เสื่อมประสิทธิภาพได้

จุดด้อยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการวิจัยในประเทศไทย คือ ความร่วมมือกันระหว่างหน่วย  
งานวิจัย กับ ภาคการผลิตในอุตสาหกรรม ซึ่งการวิจัยในประเทศญี่ปุ่นมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วย  
งานวิจัยกับภาคอุตสาหกรรมที่เข้มแข็งมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์  
โครงสร้างและระบบงานวิจัยที่สอดคล้อง และสนับสนุนกัน ในภาคอุตสาหกรรม และหน่วยงานวิจัย  
ทำให้เกิดการวิจัยพัฒนาในประเทศญี่ปุ่น มีผลนำไปใช้ต่อความต้องการในภาคการผลิตเชิง  
อุตสาหกรรมได้จริง

โครงการวิจัยร่วมนี้จะได้นำความเชี่ยวชาญทางการสังเคราะห์ และความเข้าใจถึงสมบัติทาง  
เคมีและฟิสิกส์ของสารอินทรีย์ ของกลุ่มนักวิจัยฝ่ายไทย ร่วมมือทำการวิจัยกับ นักวิจัยฝ่ายญี่ปุ่น ที่มี  
ความเชี่ยวชาญทางด้านการประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสง พัฒนาให้เกิดองค์ความรู้และ/  
หรือนวัตกรรมใหม่ร่วมกัน ในช่วงปีนี้จะร่วมกันศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อยอดการประยุกต์อุปกรณ์  
อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานรองพลาสติก โดยจะได้มุ่งเน้นความเชื่อมโยงประสบการณ์ในด้าน  
กระบวนการผลิตและการประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงกับอุปกรณ์อินทรีย์ทรานซิสเตอร์ และเซลล์  
แสงเปลี่ยนสีด้วยไฟฟ้า

เนื่องจากการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์นั้น จำเป็นต้องมีความร่วมมือจากกลุ่ม  
นักวิจัยในหลากหลายสาขา ดังนั้นจะได้จัดให้มีการปรึกษาหารือร่วมกันทั้งในรูปแบบการ  
ประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ ที่เปิดโอกาสให้บุคคลากรภายนอกที่สนใจเข้าร่วมกิจกรรม และร่วมการ  
ปรึกษาหารือในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เพื่อหาแนวทางวิจัยที่เหมาะสมต่อความเชี่ยวชาญของ

นักวิจัยแต่ละกลุ่ม โดยจะหมุนเวียนสถานที่การประชุมสัมมนาไปในกลุ่มนักวิจัยเพื่อจะได้สัมผัสบรรยากาศและศักยภาพของแต่ละหน่วยงานวิจัย ให้มีการเรียนรู้รายละเอียดในหัวข้อวิจัยที่ดำเนินการในกลุ่มวิจัยต่าง ๆ เพื่อให้เกิดแนวความคิดในการค้นหาสิ่งใหม่ในการพัฒนางานวิจัยทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานของชนิดอ่อน

ในช่วงกลางของการวิจัย จะได้จัดให้นักวิจัยไทยในแต่ละกลุ่มวิจัย ได้มีโอกาสดำเนินงานวิจัยในห้องปฏิบัติการวิจัยในประเทศญี่ปุ่น เป็นเวลานาน เพื่อให้สามารถเรียนรู้เทคนิคเฉพาะต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานรองอ่อนนี้ จะได้ดำเนินงานวิจัยบางส่วนที่จำเป็นให้ครบถ้วนเพียงพอต่อการตอบโจทย์วิจัยที่กำหนดขึ้นได้ โดยในขณะที่นักวิจัยไทยได้ทำงานในห้องปฏิบัติการในญี่ปุ่นนั้น ทางกลุ่มวิจัยญี่ปุ่นจะได้จัดให้มีการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ เพื่อให้ให้นักวิจัยไทยได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานวิจัย และ รับประทานอาหารอื่นที่ดำเนินการอยู่ในประเทศญี่ปุ่น ทั้งจากหน่วยงานวิจัยเอง และจากหน่วยงานอุตสาหกรรม เพื่อทำให้มีการเรียนรู้ลักษณะการทำงาน ทั้งในหน่วยงานวิจัย และการเชื่อมโยงกับภาคอุตสาหกรรม ในประเทศญี่ปุ่น

ในช่วงปีหลังนี้ จะได้ร่วมกันศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อยอดการประยุกต์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานรองพลาสติก โดยจะได้มุ่งเน้นความเชื่อมโยงประสบการณ์ในด้านกระบวนการผลิตและการประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงกับอุปกรณ์อินทรีย์ทรานซิสเตอร์ และเซลล์แสงเปลี่ยนสีด้วยไฟฟ้า

ผลงานสิ่งประดิษฐ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาในโครงการวิจัยนี้ได้แก่

1. สิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงบนวัสดุฐานรองที่เป็นกระจก และ เปล่งแสงผ่านวัสดุฐานรองด้านล่าง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปแสดงอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงแบบเปล่งแสงผ่านแผ่นฐานรองด้านล่าง (ก) ขณะปิด และขณะเปิด (ข) สีแดง (ค) สีเขียว และ (ง) สีน้ำเงิน (ตัวอักษรภาษาญี่ปุ่นเป็นชื่อมหาวิทยาลัย Tokyo Polytechnic University)

2. สิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงบนวัสดุฐานรองที่เป็นกระจกแต่เปล่งแสงขึ้นด้านบน หรือ แบบโปร่งใส



ก



ข

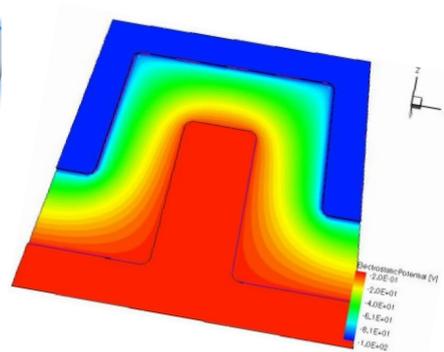
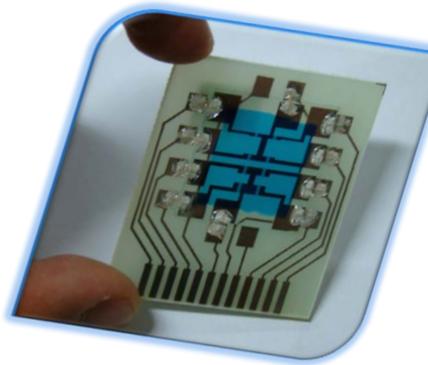
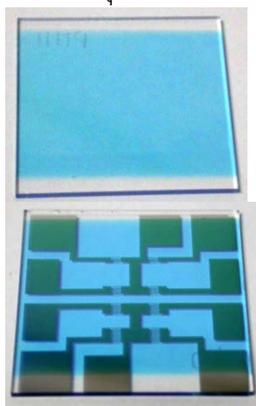
รูปแสดงสิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงสีเขียว แบบโปร่งใส ขณะ (ก) ปิด และ (ข) เปิด

3. สิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงบนวัสดุฐานรองที่เป็นพลาสติกโค้งงอได้



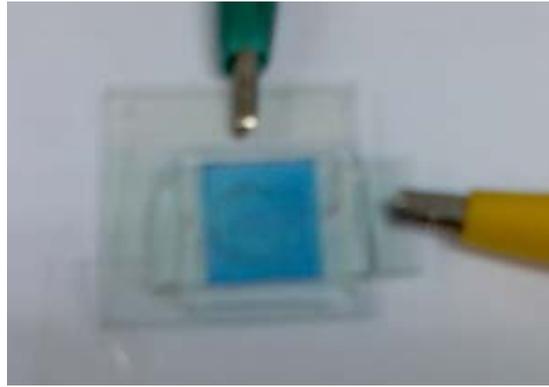
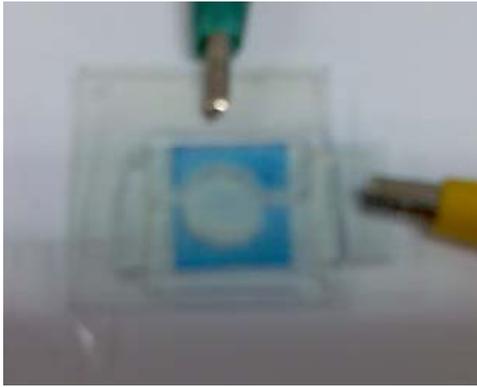
รูปแสดงอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงจาก  $Alq_3$  ที่โค้งงอได้ เกิดจากการเคลือบอุปกรณ์บนวัสดุฐานรองที่เป็นพลาสติก (ตัวอักษรภาษาญี่ปุ่นเป็นชื่อย่อของ Japan Society for the Promotion of Science)

4. อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ฟิลด์เอฟเฟคสารอินทรีย์



รูปแสดงอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ฟิลด์เอฟเฟคสารอินทรีย์บนกระจก ITO บนแผ่นลายวงจรและแบบจำลองสองมิติ

5. สิ่งประดิษฐ์เซลล์เปลี่ยนสีด้วยไฟฟ้า



รูปแสดงสิ่งประดิษฐ์เซลล์เปลี่ยนสีด้วยไฟฟ้าเมื่อมีการป้อนและไม่ได้ป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้า

ด้วยการสนับสนุนจาก โครงการร่วมมือจากทั้งทางฝ่ายไทย และญี่ปุ่น มีการจัดประชุม สัมมนานานาชาติเชิงวิชาการ ทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนรวมถึง อุปกรณ์แสดงผล อินทรีย์และวัสดุที่ใช้ประกอบ จำนวน 11 ครั้ง เป็นการประชุมที่ประเทศไทย จำนวน 6 ครั้ง และที่ ประเทศญี่ปุ่น จำนวน 5 ครั้ง โดยการประชุมในประเทศไทยมีจำนวนนักวิจัยชาวญี่ปุ่นเพิ่มขึ้นจาก 2 คน เป็น 3 คนและ 54 คน ตามลำดับ โดยสถานที่การประชุมได้มีจัดเวียนไปตามหน่วยงานต่าง ๆ ที่นักวิจัยสังกัดอยู่ ซึ่งได้มีการจัดสัมมนาที่ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยนเรศวร ศูนย์โลหะและ วัสดุแห่งชาติ และ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยกลุ่มนักวิจัยทั้งต่างในประเทศไทยและจาก ประเทศญี่ปุ่น ได้ร่วมปรึกษาและได้เยี่ยมชมศักยภาพการดำเนินงานวิจัยในกลุ่มวิจัยในหน่วยงานต่าง ๆ ทำให้เข้าใจถึงความสามารถในการทำงานและโจทย์วิจัย ที่แต่ละกลุ่มสนใจศึกษา ร่วมหาแนวทาง สนับสนุนความร่วมมือของแต่ละกลุ่มวิจัยให้มีศักยภาพในการวิจัย ทางด้านการพัฒนาอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ให้สูงขึ้น การรวมกลุ่มนักวิจัยช่วยทำให้อุตสาหกรรมในประเทศ ตระหนัก ถึงศักยภาพของกลุ่มนักวิจัย ในการพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์บนแผ่นรองชนิดอ่อนได้ดีขึ้น

การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ ให้สามารถมีอายุการใช้งานที่ยาวนานได้ จำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการสร้างในที่ที่สามารถควบคุมปริมาณกาซออกซิเจนและความชื้น เมื่อประดิษฐ์อุปกรณ์เสร็จแล้ว จำเป็นต้องปิดอุปกรณ์ให้มิดชิดป้องกันการสัมผัสกับอากาศ ใน ห้องปฏิบัติการที่ประเทศญี่ปุ่น ได้มีการศึกษาเทคนิคการเตรียมโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์สารอินทรีย์ใน ระบบที่ได้สั่งทำ เพื่อควบคุมปริมาณกาซและความชื้น ได้มีการศึกษาเทคนิคการปิดอุปกรณ์ด้วยการพอลิเมอร์โรซ์ด้วยแสงเหนือม่วง เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มนักวิจัยไทยได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ถูกเตรียมเป็นชั้นฟิล์มจะถูกทำลายได้ง่ายจากความร้อน จากการชนด้วยอ็อกซิเจนพลังงานสูง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการเตรียมชั้นโลหะไฟฟ้าโปร่งแสงที่สามารถลดการทำลายใน ระหว่างการเคลือบชั้นชีวไฟฟ้า โดยนักวิจัยไทยได้ศึกษาปัจจัยและพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการลดการทำลายสมบัติการเปล่งแสงของชั้นสารอินทรีย์ เมื่อมีการเตรียมชีวไฟฟ้าด้านบน โดยได้ทำการ ทดลองในห้องปฏิบัติการที่ประเทศญี่ปุ่น ได้เขียนผลงานวิจัยเสนอในวารสารนานาชาติที่มีผู้เขียน ร่วมกันกับนักวิจัยญี่ปุ่นในโครงการนี้ นับเป็นความสำเร็จอย่างดีเยี่ยมที่สามารถมีผลงานจากการ ร่วมมือกันพัฒนาวิจัยอย่างจริงจัง

นอกจากนี้ได้มีการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์เปล่งแสงที่สังเคราะห์ได้ จากกลุ่มนักวิจัยไทย ไปประดิษฐ์เป็นโครงสร้าง OLED ที่ห้องปฏิบัติการในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเดิมในการสังเคราะห์โครงสร้าง OLED มักจะใช้สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลน้อยที่สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป ทำให้ได้ OLED ที่มีสมบัติต่างจากโครงสร้างเดิมที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการที่ญี่ปุ่นเดิม โดยได้มีการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้สารประดิษฐ์เป็นฟิล์มของอุปกรณ์

โดยทั่วไป จะยังไม่มีมีการเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บนแผ่นฐานรองชนิดอ่อนอย่างจริงจัง ด้วยการสนับสนุนของโครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่น กลุ่มวิจัยได้พัฒนากระบวนการเตรียมอุปกรณ์ OLED ให้สามารถประดิษฐ์ได้บนแผ่นฐานรองพอลิเมอร์ ที่เคลือบด้วยชั้นไฟฟ้าโปร่งแสงที่สามารถงอพับได้ โดยได้ศึกษาพารามิเตอร์การเคลือบฟิล์มสารอินทรีย์ชั้นต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับแผ่นฐานรองพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูง และสามารถงอได้ ไม่แข็งเหมือนแผ่นฐานรองแก้ว โดยได้มีการประดิษฐ์เชิงอุปกรณ์อินทรีย์ที่เปล่งแสงเป็นสีต่าง ๆ ในรูปแบบเทริน์ที่ออกแบบสร้างขึ้นเอง ได้ทดสอบสมบัติการเปล่งแสงเมื่ออุปกรณ์ผ่านการโค้งงอหลายครั้ง เพื่อศึกษาสาเหตุของเสื่อมของอุปกรณ์เมื่อผ่านการโค้งงอ ซึ่งจะได้มีการพัฒนาในลำดับต่อไป

ความสัมพันธ์ระหว่าง นักวิจัยไทย และ นักวิจัยญี่ปุ่น ที่เข้มแข็งมากขึ้น หลังจากการสนับสนุนโดยโครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่น ทำให้เกิดการวิจัยพัฒนาร่วมกัน ในการพัฒนาอุปกรณ์อินทรีย์เพื่อการประยุกต์ใช้งานประเภทอื่นต่อไปด้วย ทั้งการประยุกต์ใช้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในโครงสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เดียวกัน เพื่อนำข้อดีของแต่ละอุปกรณ์มาเพิ่มประสิทธิภาพ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ด้วย การที่กลุ่มนักวิจัยไทยมาจากหลากหลายหน่วยงาน การขยายการเชื่อมความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ไปยังนักวิจัยรอบข้าง ของแต่ละหน่วยงาน อันจะสังเกตเห็นได้ระหว่างการสัมมนาในที่ต่าง ๆ ทำให้การวิจัยผลิตภัณฑ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นฐานรองชนิดอ่อนนี้ สามารถขยายวงกว้างขึ้นในหน่วยงานวิจัยต่าง ๆ และ ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต ที่จะเกิดความเชื่อมั่น ในศักยภาพของการวิจัยทางด้านนี้ จากการรวมตัวเป็นกลุ่มก่อนด้วยการสนับสนุนในโครงการความร่วมมือไทย-ญี่ปุ่นนี้ด้วย

กลุ่มนักวิจัยไทยและญี่ปุ่นมีความต้องการพัฒนาต่อยอดจากความรู้ของการประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงไปสู่การประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นด้วย โดยกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นได้พัฒนาต่อยอดนำสารอินทรีย์มาผสมกับสารอนินทรีย์ในการทำอุปกรณ์เปล่งแสง ซึ่งแต่เดิมจะมีแต่การนำสารอนินทรีย์มาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์เปล่งแสง electro-luminescence เมื่อมีการปรึกษาหารือกัน ทั้งระหว่างกลุ่มนักวิจัยญี่ปุ่นเองและกลุ่มนักวิจัยไทยที่ใช้สารอินทรีย์เป็นหลัก จึงได้มีการพัฒนานำสารอินทรีย์มาผสมกับสารอนินทรีย์ในการทำอุปกรณ์เปล่งแสง ต่อมาจึงได้เชิญนักวิจัยญี่ปุ่นให้มีการนำเสนอในประเทศไทย

กลุ่มนักวิจัยไทยต้องการทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อยอด การประยุกต์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ โดยได้มุ่งเน้นเชื่อมโยงประสบการณ์ในด้านกระบวนการผลิตและการประดิษฐ์อุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์อินทรีย์ทรานซิสเตอร์ และเซลล์เปลี่ยนสีได้ด้วยไฟฟ้า โดยได้พัฒนาการประกอบอุปกรณ์อินทรีย์ทรานซิสเตอร์จากสารเพนทาซีน และโลหะแพทโลไฮยาโนนได้เป็นผลสำเร็จอย่างดียิ่งมั่งคั่งได้เสนอไว้ในรายงานหกเดือนแรก โครงสร้างของอุปกรณ์

อินทรีย์ทรานซิสเตอร์นี้มีความคล้ายคลึงกับอุปกรณ์อินทรีย์เปล่งแสงแต่มีความซับซ้อนมากกว่าที่จะต้องมีชั้นฉนวนและขั้วไฟฟ้าถึงสามขั้ว ซึ่งผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงการอุปกรณ์สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลในอุปกรณ์ด้วยสนามไฟฟ้าจากขั้วที่สามได้

กลุ่มนักวิจัยได้พัฒนาการประกอบเซลล์เปลี่ยนสีด้วยไฟฟ้าด้วยการเคลือบด้วยเคมีไฟฟ้า ได้ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ให้มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนสีที่ดีและเพิ่มจำนวนครั้งของการใช้งาน โดยได้ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนสี รวมทั้งการเสื่อมของอุปกรณ์ด้วย นอกจากนี้ได้ทดลองประดิษฐ์เซลล์บนแผ่นฐานรองพลาสติกที่อ่อน พร้อมกับสารอิเล็กโทรไลต์ที่มีลักษณะเป็นเจลที่ข้นเหนียว เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สารอินทรีย์ที่สามารถเตรียมบนพื้นผิวที่โค้งงอได้

จากการดำเนินงานในโครงการวิจัยนี้ กลุ่มนักวิจัยได้ร่วมกระตุ้นอุตสาหกรรมการพิมพ์ในประเทศไทยให้ตระหนักถึงความสำคัญของความก้าวหน้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์ ที่สามารถจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ในการประกอบเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินทรีย์นี้ได้ และจะเป็นการกระโดดก้าวข้ามจากยุคการพิมพ์แบบสมาร์ทไปสู่การพิมพ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยในการประชุมของสมาคมการค้าวัสดุอุปกรณ์การพิมพ์ไทย ได้มีการเชิญนักวิจัยญี่ปุ่นในโครงการนี้ ซึ่งเป็นตัวแทนของสมาคมการพิมพ์ญี่ปุ่นมาร่วมนำเสนอและปรึกษาหารือแนวโน้มของอุตสาหกรรม ต่อที่ประชุมของสมาคมการค้าวัสดุอุปกรณ์การพิมพ์ไทย จะเห็นได้ว่าความสำเร็จของโครงการวิจัยนี้ ไม่ได้มีประโยชน์แต่เฉพาะโดยตรงต่อนักวิจัยไทย ญี่ปุ่น หากแต่ได้สามารถสร้างผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรมผลิตได้ด้วย

## ผลงานตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ

T. Uchida, M. Wakana, M. Yahata, S. Dangtip, T. Osotchan, T. Satoh, and Y. Sawada, Blue Flexible Transparent Organic Light-Emitting Devices, J. Display Technology 5(2009)188-191.

Wang M H, Onai Y, Hoshi Y, Lei H, Kondo T, Uchida T, Singkarat S, Kamwanna T, Dangtip S, Aukkaravittayapun S, Nishide T, Tokiwa S, Sawada Y. Thermal change of amorphous indium tin oxide films sputter-deposited in water vapor atmosphere. Thin Solid Films 2008; 516: 5809–5813.

Dangtip S, Hoshi Y, Kasahara Y, 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. J Phys Conf Ser 2008;100:042011.

## บทความทางวิชาการ

บทความเรื่อง “โลก(ยุค)จอแบนและแผ่นแสง” สมศักดิ์ แดงดีบ, ธนากร โอสถจันทร์ และ สมบุญ สหสิทธิวัฒน์ วารสารฟิสิกส์ไทย ปีที่ 26 ฉบับที่ 1 (มีนาคม - พฤษภาคม 2552), หน้า 32-39.

บทความเรื่อง “แนวโน้มการพัฒนาอุปกรณ์เปล่งแสงจากสารอินทรีย์” สมศักดิ์ แดงดีบ, ธนากร โอสถจันทร์ และ สมบุญ สหสิทธิวัฒน์ หนังสือวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนา: รวมบทความวิชาการ ฉลองครบรอบ 50 ปี แห่งการสถาปนาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล หน้า 215-223.

# บรรณานุกรม

1. T.Uchida, T.Mimura, S.Kaneta, M.Ichihara, M.Ohtsuka, T.Otomo “Transparent Organic Light Emitting Devices Fabricated by the Cs Incorporated RF Magnetron Sputtering Deposition,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, No.8, pp.5939-5942, 2005
2. T. Uchida, M. Ichihara, D. Ito, T. Tamura, M. Ohtsuka, T. Otomo, “A Full Color Pixel with Vertical Stack of RGB Transparent OLEDs,” Proceedings of The 12th International Display Workshops (IDW'05), OLED, 2005
3. T.Uchida, T.Mimura, M.Ohtsuka, T.Otomo, M.Ide, A.Shida, Y.Sawada, “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, 496, 75-80, 2005
4. K. Shimizu, C. Kobayashi, S. Seki, T. Aoyama and Y. Sawada, “Cerium-doped indium oxide transparent conducting films prepared by dip coating process,” Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 27 (4) 683-686, 2002.
5. R. Ota, S. Seki, Y. Sawada, M. Ogawa, T. Nishide, A. Shida and M. Ide, “Indium-tin-oxide films prepared by dip coating using an ethanol solution of indium chloride and tin chloride,” Surface and Coating Technol., 169/170, 521-524, 2003.
6. S. Seki, Y. Sawada, M. Ogawa, M. Yamamoto, Y. Kagota, A. Shida and M. Ide, “Highly conducting indium-tin-oxide transparent films prepared by dip-coating with an indium carboxylate salt,” Surface and Coatings Technol., 169/170, 525-527, 2003.
7. S. Seki, Y. Sawada, M. Ogawa, M. Yamamoto, Y. Kagota, A. Shida and M. Ide, “Formation of indium oxide thin films fabricated by a dip-coating process using indium 2-ethylhexanoate monohydroxide,” Surface and Coatings Technol., 169/170, 566-570, 2003.
8. Y. Sawada, S. Seki, M. Sano, N. Miyabayashi, K. Ninomiya, A. Iwasawa, T. Tsugoshi, R. Ozao and Y. Nishimoto, “Evolution of water vapor from indium-

tin-oxide transparent conducting films fabricated by dip coating process,” J. Thermal Anal. Cal., 77, 751-757, 2004..

9. Akira Sugimoto, Hideo Ochi, Soh Fujimura, Ayako Yoshida, Toshiyuki Miyadera, and Masami Tsuchida, “Flexible OLED Displays Using Plastic Substrates,” IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 10, NO. 1, JANUARY/FEBRUARY 2004
10. YouJong Lee, JooHyung Kim, Jin N. Jang, le Hong Yang, SoonNam Kwon, MunPyo Hong, Dae C. Kim, Koung S. Oh, Suk Jae Yoo, Bon J. Lee, Won-Gun Jang, “Development of inverted OLED with top ITO anode by plasma damage-free sputtering,” Thin Solid Films 517 (2009) 4019–4022
11. Youjong Lee, Joohyung Kim, Soonnam Kwon, Chang-Ki Min, Y. Yi, J.W. Kim, Bonki Koo, MunPyo Hong, “Interface studies of Aluminum, 8-hydroxyquinolatalithium (Liq) and Alq<sub>3</sub> for inverted OLED application,” Organic Electronics 9 (2008) 407–412
12. Jin-Seong Park, Heeyeop Chae, Ho Kyoon Chung and Sang In Lee, “Thin film encapsulation for flexible AM-OLED: a review,” Semicond. Sci. Technol. 26 (2011) 034001
13. J W Park, D C Shin and S H Park, “Large-area OLED lightings and their Applications,” Semicond. Sci. Technol. 26 (2011) 034002
14. Hyunhyub Ko, Rehan Kapadia, Kuniharu Takei, Toshitake Takahashi, Xiaobo Zhang and Ali Javey, “Multifunctional, flexible electronic systems based on engineered nanostructured materials,” Nanotechnology 23 (2012) 344001
15. M. Mizukami, N. Hirohata, T. Iseki, K. Ohtawara, T. Tada, S. Yagyu, T. Abe, T. Suzuki, Y. Fujisaki, Y. Inoue, S. Tokito, and T. Kurita, “Flexible AM OLED Panel Driven by Bottom-Contact OTFTs,” IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, VOL. 27, NO. 4, APRIL 2006