



## พอลิเมอร์ไดโอดเปล่งแสงสำหรับประยุกต์ใช้ในจอแสดงผลชนิดแบน

### Polymer light emitting diodes for flat panel display application

พิเชษฐ อนุรักษอุดม

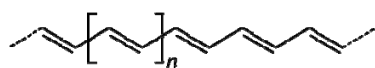
คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

ด.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

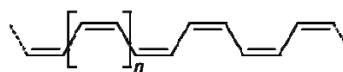
E-mail: anuragudom@gmail.com

“พอลิเมอร์” มาจากภาษากรีก poly แปลว่าหลายๆ หรือมาก และ mer แปลว่าหน่วย หรือส่วนหน่วยย่อยซ้ำ ๆ ของโมเลกุลที่เรียกว่า “เมอร์” และหากเป็นโมเลกุลที่มี “เมอร์” เพียง 1 หน่วยก็จะเรียกว่า “มอนอเมอร์” (monomer) พอลิเมอร์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เกิดจากการรวมกันของมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีหน่วยซ้ำ ๆ หลายหน่วยมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์

ศตวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพอลิเมอร์อย่างต่อเนื่อง และได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ปัจจุบันเทคโนโลยีได้ก้าวล้ำหน้าไปอีกระดับหนึ่งหลังจากได้มีการค้นพบพอลิเมอร์นำไฟฟ้า (conductive polymer) เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1977 โดย Alan MacDiarmid เป็นนักเคมีอินทรีย์ Hideki Shirakawa นักเคมีพอลิเมอร์ และ Alan Heeger นักฟิสิกส์ ทั้ง 3 ท่านได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 2000 สาขาเคมี จากสมบัติการนำไฟฟ้าของพอลิอะเซทิลีน (polyacetylene) ด้วยการนำมอนอเมอร์ของอะเซทิลีนมาเติมด้วยไฮโดรเจนและไฮโดรเจน ผลที่เกิดขึ้นพบว่ามีการนำไฟฟ้ามากกว่า 10 เท่าเมื่อเทียบกับมอนอเมอร์ที่ไม่ได้ทำการเติมสารทั้งสองชนิด



cis-polyacetylene



trans-polyacetylene

Received: August 9, 2013

Revised: September 12, 2013

Accepted: September 20, 2013



Alan J. Heeger Alan

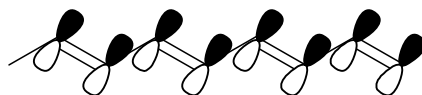


G. MacDiarmid



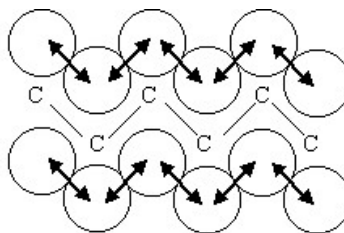
Hideki Shirakawa

จากการค้นพบดังกล่าวทำให้วิทยาศาสตร์ด้านพอลิเมอร์นำไฟฟ้าได้รับความสนใจและได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว พอลิเมอร์นำไฟฟ้าส่วนใหญ่คือพอลิเมอร์แบบสังยุค (conjugated polymer) มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยพันธะเดี่ยวและพันธะคู่สลับกันแสดงดังรูปที่ 1



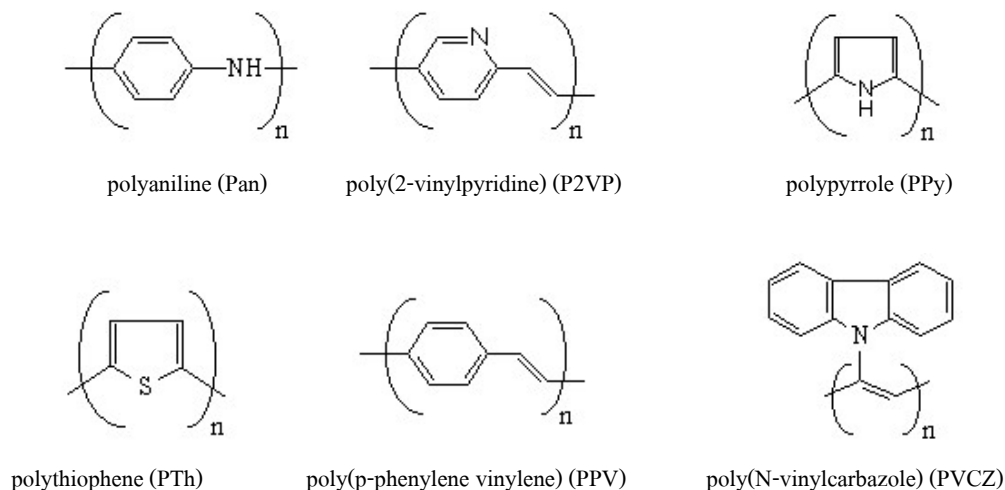
รูปที่ 1 โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบสังยุค

พันธะที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนและมีส่วนน้อยที่เป็นพันธะระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน พันธะเดี่ยวหรือพันธะซิกมา ( $\sigma$ ) เกิดจากการซ้อนทับกันของออร์บิทัลผสมแบบ  $sp^2$  ส่วนพันธะคู่หรือพันธะพาย ( $\pi$ ) เกิดจากการที่ออร์บิทัล  $p_x$  ที่เหลืออยู่บนคาร์บอนหรือไนโตรเจนซ้อนทับกับออร์บิทัล  $p_x$  ที่อยู่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์แบบสังยุคนี้สามารถแสดงด้วยการสลับกันระหว่างพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ แต่ในความเป็นจริงแล้วอิเล็กตรอนที่อยู่ในพันธะพายสามารถเกิดการดีโลคาไลเซชัน (delocalization) รอบโมเลกุลได้ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การดีโลคาไลเซชันของอิเล็กตรอนในพอลิเมอร์แบบสังยุค

ด้วยเหตุนี้ทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้ได้รับความสนใจในการนำไปใช้งานหลากหลายด้าน โดยพอลิเมอร์ที่รู้จักกันทั่วไปได้แก่ polyaniline, poly(2-vinylpyridine), polypyrrole, polythiophene, poly(p-phenylene vinylene), poly(N-vinylcarbazole) โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงพอลิเมอร์แบบสังยุคบางชนิด

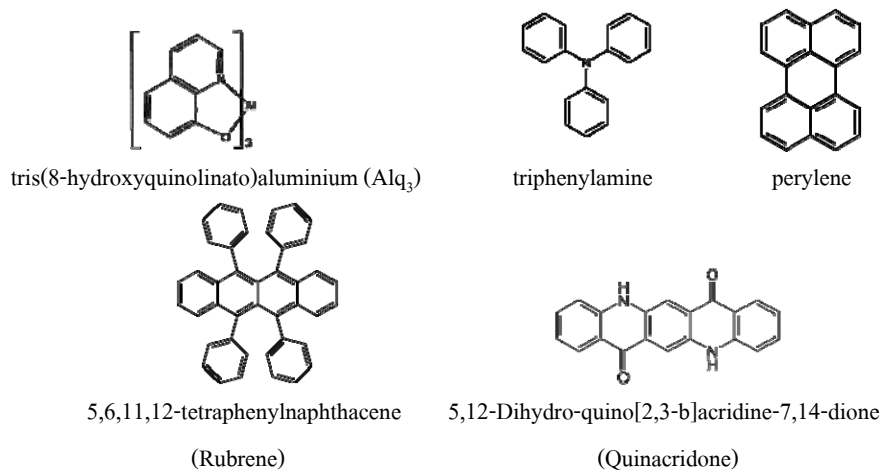
พอลิเมอร์ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ จำนวนมาก โดยเฉพาะด้านอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ในการเก็บประจุ เช่น แบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุยิ่งยวด เป็นต้น รวมไปถึงพอลิเมอร์อีกรูปแบบหนึ่งที่มีช่องว่างระหว่างแถบพลังงานต่ำ และมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ภายในตัว ซึ่งถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ (transistor) โฟโตไดโอด (photodiodes) และไดโอดที่สามารถเปล่งแสงได้ (light-emitting diodes) เป็นต้น

เทคโนโลยีจอแสดงผล จอภาพพับงอได้ หรือจอภาพที่แสดงผลได้แม้ไม่ต้องจ่ายไฟให้ เป็นจอแสดงผลยุคใหม่ที่ไม่ใช่เพียงแค่จินตนาการอีกต่อไป โดยเทคโนโลยีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันและการแข่งขันระหว่างเทคโนโลยีก็มีส่วนผลักดันให้จอภาพแสดงผลถูกพัฒนาทั้งประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือในการทำงานให้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระดับราคาของจอภาพกลับลดต่ำลง

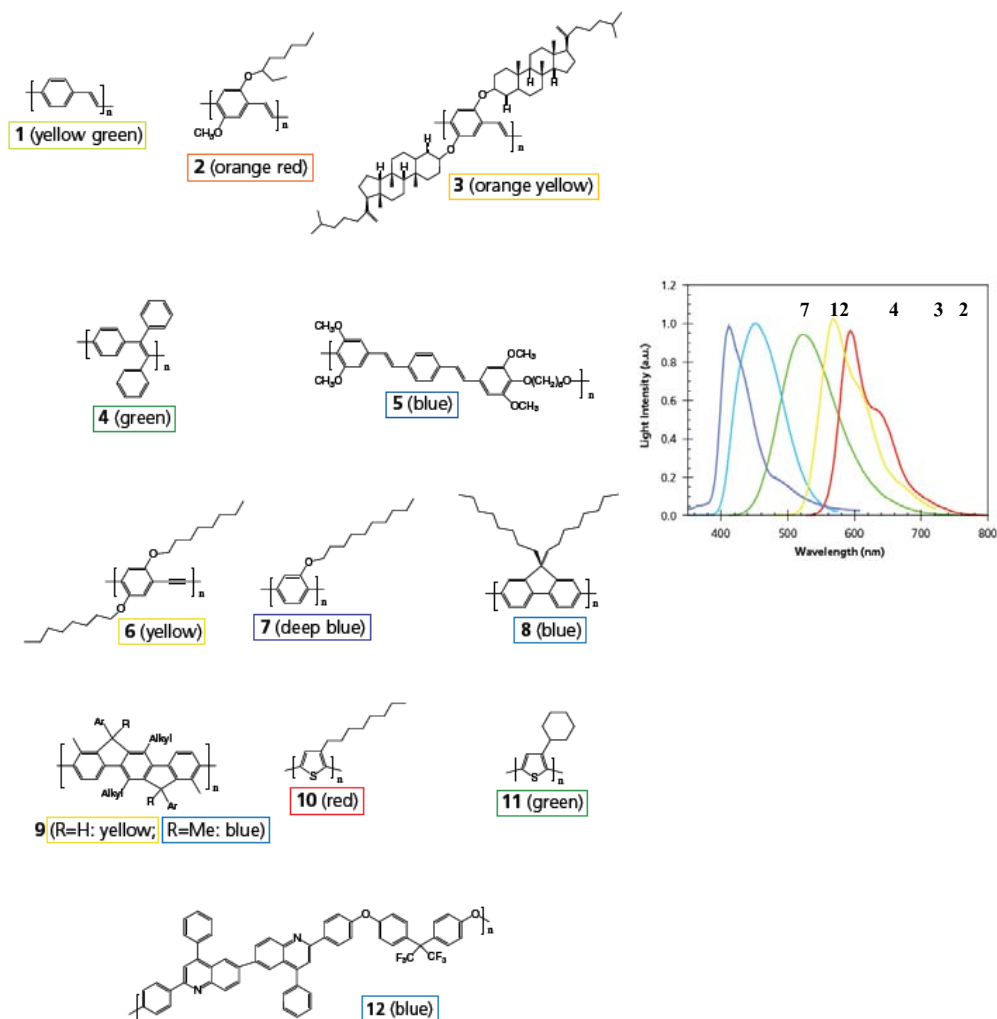
อุปกรณ์ที่ทำด้วยฟิล์มของวัสดุอินทรีย์กึ่งตัวนำที่สามารถเปล่งแสงได้เองเมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า กระบวนการอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ (electroluminescence) ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 1965 Helfrich และ Schneider ได้มีการค้นพบการเปล่งแสงแบบอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ในสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าชนิดสารอินทรีย์ (organic semiconductor) ได้แก่แอนทราซีน (anthracene) ต่อมาในปี ค.ศ. 1987 Tang และ Vanslyke ได้พัฒนาเป็นฟิล์มบางที่สามารถเปล่งแสงแบบอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ ซึ่งอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์จากพอลิเมอร์แบบสังยุคถูกค้นพบครั้งแรกใน Poly(p-phenylene vinylene) (PPV) ในปี ค.ศ. 1990 โดยนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ Burroughes และทีมงานจากมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ โดยใช้ PPV เป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า (semiconductor layer) ในจอแสดงผลชนิดอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อผลิตจอแสดงผลที่มีขนาดใหญ่ ราคาถูก และมีความสามารถหลากหลาย ทั้งความละเอียดในการแสดงผล (resolution) ที่สูงขึ้น มีจำนวนพิกเซล (pixel) มากขึ้น พร้อมกับสีสดใสสมจริง และการให้ภาพที่คมชัด แสดงภาพเคลื่อนไหวได้ดีเยี่ยม รวมไปถึงความสามารถในการจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสร้าง

จอภาพที่ดีกว่าในราคาที่ต่ำลง เพื่อที่จะสร้างความพึงพอใจสูงสุดแก่ผู้ใช้งาน โดยนวัตกรรมใหม่ที่กำลังถูกจับตามองจากอุตสาหกรรมจอภาพได้แก่

1. Organic light emitting diodes (OLEDs) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า SM-OLED ทำจากสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1987 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Tang และทีมงานของบริษัท Eastman Kodak การเตรียม OLEDs ชนิดนี้ต้องทำด้วยการระเหยในสุญญากาศ (vacuum evaporation) สามารถทำจอที่ขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 15 นิ้ว เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดเครื่องสุญญากาศที่ใช้ โมเลกุลส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นพวกคีเลตโลหะอินทรีย์ (organometallic chelates) เช่น tris(8-hydroxyquinolino)aluminium ( $\text{Alq}_3$ ) เปล่งแสงสีเขียว สาร triphenylamine และอนุพันธ์ของมัน ใช้ทำหน้าที่เป็น hole transport layer สารกลุ่ม fluorescence dyes ได้แก่ perylene, rubrene และกลุ่มอนุพันธ์ของ quinacridone



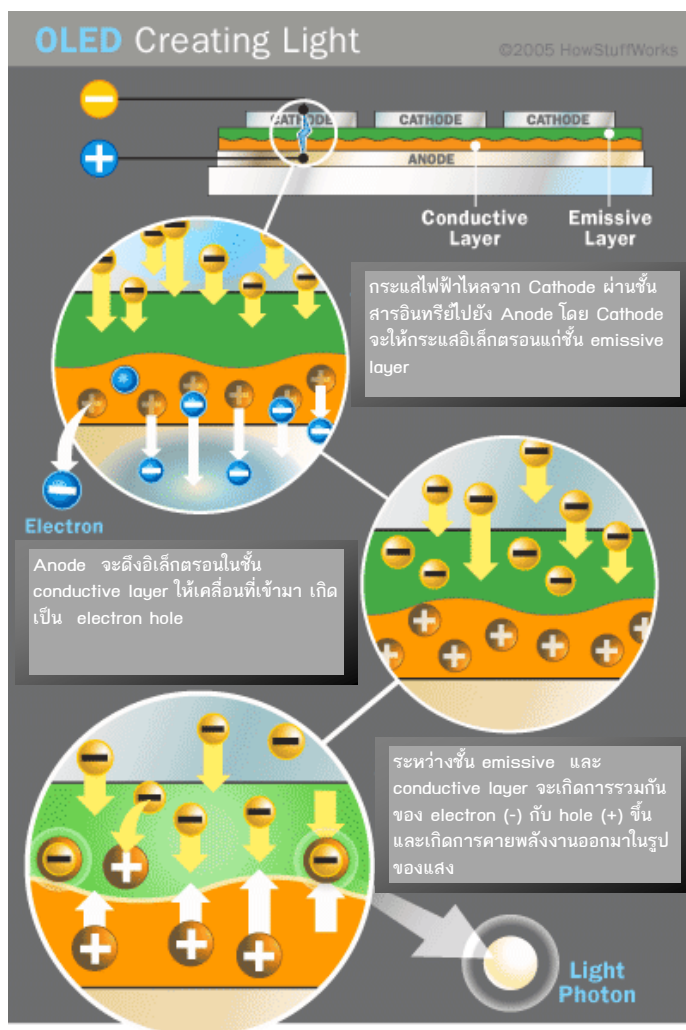
2. Polymer light emitting diodes (PLEDs) ทำจากพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1990 ที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ โดยใช้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าเป็นวัสดุเปล่งแสง ซึ่งมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้สามารถใช้ศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2-5 โวลต์ และยังมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสงได้ดีกว่า การเตรียมอุปกรณ์สามารถทำได้ในสถานะที่เป็นสารละลาย แล้วทำการเคลือบให้เป็นฟิล์มบาง กระบวนการเตรียมมีราคาถูก



รูปที่ 4 ตัวอย่างโมเลกุลของพอลิเมอร์และสเปกตรัมของการเปล่งแสงของพอลิเมอร์บางชนิด

Polymer light emitting diodes (PLEDs) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังอยู่ในช่วงพัฒนาเพื่อมาแทนที่เทคโนโลยี LCD ซึ่งมีการทำงานของชั้นคาร์บอน (layers of carbon) เป็นส่วนหลัก โดยตัว OLEDs จะเปล่งแสงผ่าน emitting layer ซึ่งคล้ายกับที่อิเล็กตรอนวิ่งไปกระทบกับฉากเรืองแสงในจอภาพแบบ Cathode ray tube (CRT) กล่าวคือ เมื่อนำวัสดุที่มีสมบัติเป็นสารเปล่งแสง (emissive materials) ซึ่งเป็นโมเลกุลอินทรีย์หรือพอลิเมอร์ มาวางไว้ระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ วัสดุเปล่งแสงนี้มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีชั้นของพลังงาน 2 ชนิด ได้แก่ ชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ กับ ชั้นพลังงานที่ว่างเปล่าที่ไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุ ประจุบวกหรือโฮล (hole) สามารถวิ่งอยู่บนชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่นี้ได้ ในขณะที่ประจุลบหรืออิเล็กตรอนสามารถวิ่งได้บนชั้นพลังงานที่ว่างเปล่านี้ ชั้นพลังงาน 2 ชนิดนี้มีลักษณะที่ไม่เชื่อมต่อกัน โดยชั้นพลังงานที่ว่างเปล่าจะอยู่สูงกว่าชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ ชั้นพลังงานบนสุดที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ จะถูกแยกออก

จากชั้นพลังงานว่างเปล่าด้วยช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap) ซึ่งมีขนาดที่พอเหมาะ เมื่อผ่านสนามไฟฟ้าเข้าไปที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง อิเล็กตรอนจากขั้วลบจะวิ่งไปที่ชั้นพลังงานที่ว่างเปล่า ในขณะที่โฮลจะวิ่งจากขั้วบวกเข้าไปยังชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ จากนั้นประจุลบจะวิ่งลงมาในขณะที่ประจุบวกจะวิ่งขึ้นไปพบกัน แล้วรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคโฟตอนหรือแสงนั่นเองแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างของ OLEDs และหลักการทำงาน

จอภาพที่สร้างจาก OLEDs จะไม่มีข้อจำกัดในเรื่องมุมมองของภาพ และไม่ต้องการ backlight ที่มีความสว่างสูง นอกจากนั้นตัวจอจะมีความบางมากกว่า LCD เสียอีก การนำ OLEDs มาใช้งานในขณะนี้มีค่อนข้างหลากหลาย เช่น อุปกรณ์จำพวกโทรศัพท์เคลื่อนที่ จอภาพของเครื่องเสียงดิจิตอล และในหน้าปัทม์แสดงผลของนาฬิกาแบบดิจิตอล เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านความละเอียดในการแสดงผลที่ยังไม่ดีพอ อีก

ทั้งขบวนการผลิตไม่สามารถผลิตให้มีขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากขบวนการที่ทำให้เป็นฟิล์มบางที่มีราคาแพง แต่พอลิเมอร์แบบสังยุคใน PLEDs สามารถทำให้เป็นฟิล์มบางได้ง่ายกว่า ราคาถูกกว่า และยังสามารถพับงอได้เมื่อเปรียบเทียบกับ OLEDs ซึ่งปัจจุบันห้องทดลองหลาย ๆ แห่งได้พยายามสังเคราะห์และพัฒนาปรับปรุงพอลิเมอร์และหรือโคพอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่เปล่งแสงได้สำหรับประยุกต์ใช้ในจอแสดงผลชนิดแบนในขณะนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] C. K. Chiang, C. R. Fincher, Y. W. Park, A. J. Heeger, H. Shirakawa, E. J. Louis, S. C. Gau and A.G. MacDiarmid, *Phys. Rev. Lett.*, 1977, 39, 1098.
- [2] W. Helfrich and W. G. Schneider, *Phys. Rev. Lett.*, 1965, 14, 229.
- [3] C. W. Tang and S. A. Vanslyke, *Appl. Phys. Lett.*, 1987, 51, 913.
- [4] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burn and A. B. Holmes, *Nature*, 1990, 347, 539.
- [5] C. W Tang, S. A. VanSlyke and C. H. Chen, *J. Appl. Phys.*, 1989, 65, 3610.
- [6] Q. Pei, *Material Matters*, 2007, 2, 26-28.