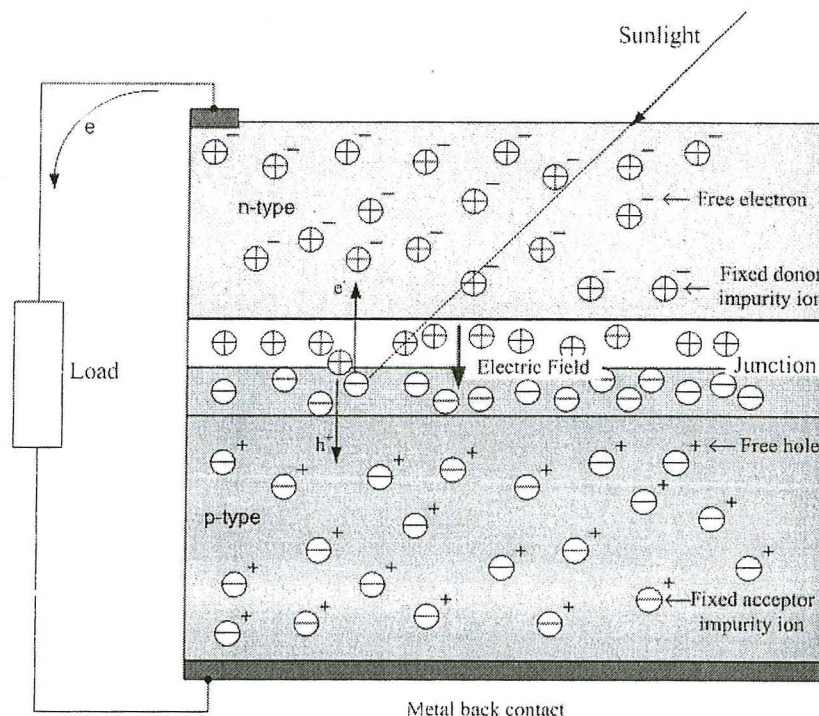


บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงโดยใช้คุณสมบัติ photovoltaic ของวัสดุสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมเกิดขึ้นครั้งแรกในปี 1539 โดยการค้นพบของนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส เมื่อเขาพบว่ามิสค์ย์แรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่แยกออกจากกันด้วยอิเล็กโตรไลต์ของเหลว เมื่อถูกแสงอาทิตย์ (Nelson, 2003) ต่อมาในปี 1954 ห้องปฏิบัติการเบล (Bell Laboratories) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ด้วยประสิทธิภาพ 6 % จากสารกึ่งตัวนำซิลิกอนเป็นครั้งแรก (Yamaguchi, 2001) จากนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการให้พลังงานแก่ดาวเทียม (satellites) และอวกาศยาน (spacecrafts) ในปัจจุบัน ได้รับการยอมรับว่าการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงเป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานที่ชาญฉลาดมากที่สุดวิธีหนึ่ง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (Conventional solar cells)



รูปที่ 1. โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมซึ่งส่วนใหญ่ผลิตมาจากซิลิคอน (Silicon) หรือสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ เช่น GaAs, CdTe/CdS, CuInGaSe₂ เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยรอยต่อพี-เอ็น (PN junction) การผลิตการสังเคราะห์รอยต่อทางเคมี การโด๊ปสารหมู่ V เพื่อให้ได้ N-type และ หรือโด๊ปสารหมู่ III เพื่อให้ได้ p-type เพื่อสร้างรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) การผลิตพลังงานอยู่บนพื้นฐานของการแยกประจุของรอยต่อพี-เอ็น ดังแสดงในรูปที่ 1.

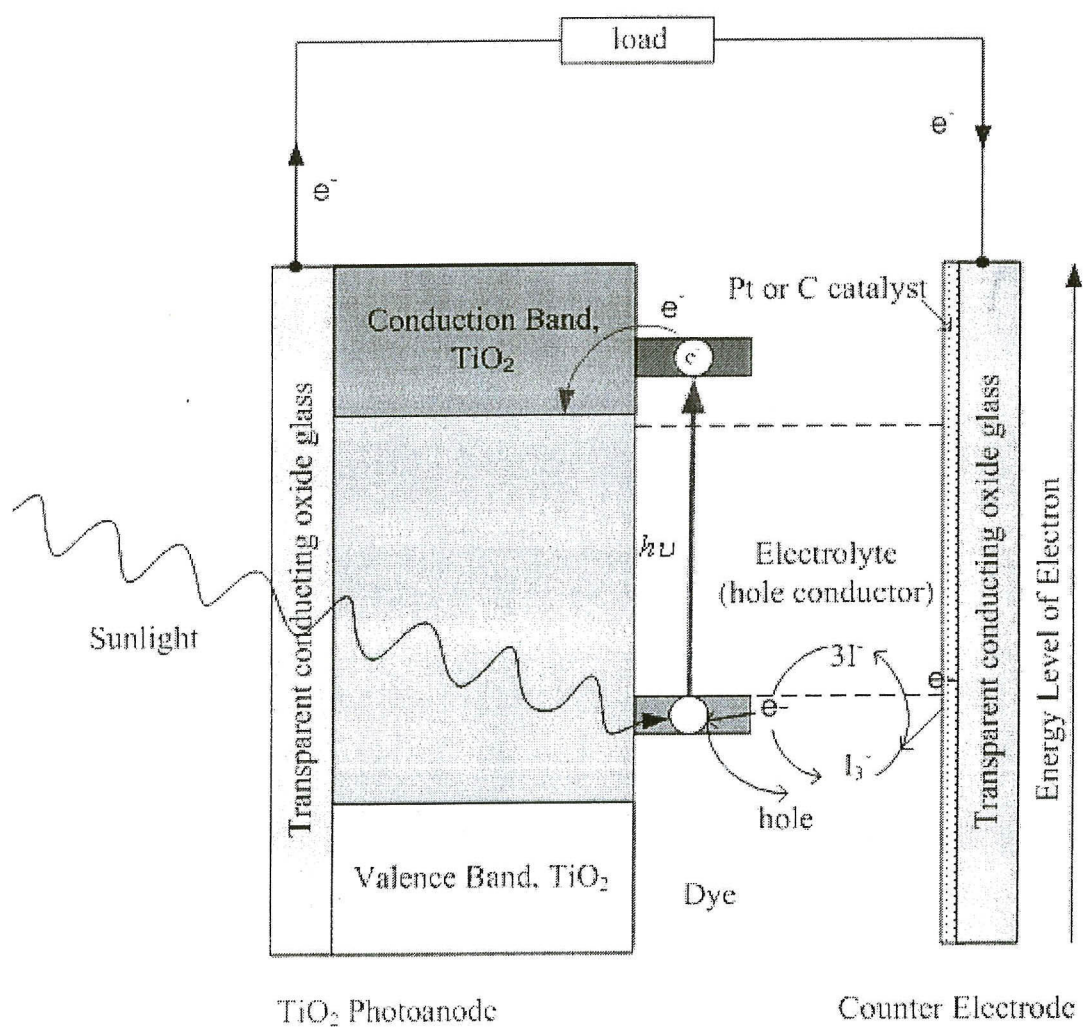
หลักการทํางานอธิบายได้ดังนี้ (Hara and Arakawa, 2003) เมื่อโฟตอน (photon) ของแสงตกกระทบบนรอยต่อสารกึ่งตัวนำ จะถูกดูดกลืนและทำลายเสถียรภาพของคู่อิเล็กตรอน-โฮล (electron-hole pair) ที่รวมกันอยู่ทำให้เกิดการแยกเป็นอิสระออกจากกันของอิเล็กตรอน-โฮล อิเล็กตรอนที่อยู่ในสนามไฟฟ้าจะถูกขับเคลื่อนด้วยสนามไฟฟ้าของรอยต่อให้เคลื่อนที่ไปยังด้าน p-type ในขณะที่โฮลจะถูกขับเคลื่อนด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ไปยังด้าน n-type การแยกกันของประจุ จะถูกรักษาไว้ด้วยความต่างศักย์ของรอยต่อ พี-เอ็น การที่จะป้องกันการกลับไปรวมตัวของประจุ (recombination) ซิลิคอนจะต้องมีความบริสุทธิ์สูง (high purity) นอกจาก ซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีราคาแพงแล้ว เซลล์ประเภทนี้จะต้องอาศัยแสงพลังงานสูงตกกระทบบนเพื่อให้เซลล์มีประสิทธิภาพเพียงพอในการเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ทำจากสารกึ่งตัวนำที่มี bandgap E_g ได้รับพลังงานแสง โฟตอนที่มียพลังงาน $h\nu \geq E_g$ จะถูกดูดกลืนและมีผลต่อ photocurrent

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง DSSCs (Unconventional solar cells)

เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงสร้างนาโน (Dye-sensitized nanocrystalline TiO_2 solar cells) มีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2 (Yamaguchi, 2010) ประกอบด้วยแผ่นแก้วตัวนำโปร่งแสง (transparent conducting oxide, TCO) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า (electrode) สองด้านประกบกัน โดยทั่วไปเป็นแก้วที่เคลือบด้วย SnO_2 โด๊ปด้วย F หรือ In ด้าน working electrode หรือ anode เคลือบด้วย TiO_2 และที่ผิวของ TiO_2 มีโมเลกุลสีย้อมไวแสงเกาะติด สีย้อมไวแสงอาจเป็นสีย้อมธรรมชาติ เช่น anthocyanins หรือ สีย้อมสังเคราะห์จำพวก organometallic molecules เช่น ruthenium dye (N3) เป็นต้น ส่วน counter electrode มี carbon หรือ platinum เคลือบอยู่ทำหน้าที่เป็น catalyst เมื่อเอา electrode ทั้งสองมาประกบกันแล้วจุ่มลงในสารละลาย electrolyte แล้ว สารละลาย electrolyte จะถูกดูดกลืนขึ้นไปแทรกระหว่าง electrode ทั้งสอง เนื่องมาจาก capillarity จะได้ เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงสร้างนาโน

ภาพที่ 2 แสดงหลักการทํางานเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงโครงสร้างนาโนมีหลักการทํางานอธิบายสรุปได้ดังนี้ เมื่อแสงตกกระทบบนโมเลกุลของสีย้อมไวแสงที่ทำหน้าที่ photosensitizer อิเล็กตรอน

ของโมเลกุลจะถูกทำให้ตื่นตัวและถูกฉีด (ejected) สู่อำนาจนำไฟฟ้า (conduction band) ของ TiO_2 อิเล็กตรอนเหล่านี้แพร่สู่แก้วตัวนำโปร่งแสงและไหลผ่านโหลด สีย้อมไวแสงได้รับอิเล็กตรอนจาก electrolyte (I^-) สาร electrolyte (I_3^-) แพร่เข้าสู่ Pt หรือ C ของ counter electrode จากนั้น electrolyte จะถูกรีดิวซ์สู่ I^- (ได้รับอิเล็กตรอน) ในขณะที่ hole จะเคลื่อนที่ตรงข้ามกับอิเล็กตรอนในอิเล็กโตรไลต์ จึงเรียกสารอิเล็กโตรไลต์ว่าเป็น hole conductor ขบวนการเกิดตลอดเวลา (ผลิตไฟฟ้าตลอดเวลา) เมื่อมีแสงตกกระทบ เมื่อพิจารณาขบวนการทั้งหมด การผลิตไฟฟ้า ไม่ใช่เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างถาวร การเปลี่ยนแปลงเมื่อมีแสงตกกระทบเท่านั้น จะกลับสู่สถานะเดิมเมื่อไม่มีแสงตกกระทบ (Stone, 1993 และ Yamaguchi, 2001)



รูปที่ 2 แผนภาพพลังงานและปฏิกิริยาหลักของเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง TiO_2 โครงสร้างนาโน

เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง มีข้อได้เปรียบเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมที่ผลิตมาจากซิลิคอนหลายอย่างเช่น ต้นทุนการผลิตถูกกว่า ไม่จำเป็นต้องอาศัยห้องสะอาด (clean room) ในกระบวนการผลิต วัสดุตั้งต้น TiO_2 เป็นของหาง่าย ราคาถูกและไม่เป็นพิษ ปลอดภัยต่อกระบวนการผลิต และไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ศาสตร์และเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังอยู่ในขั้นเริ่มต้น

ความสำเร็จของเซลล์ชนิดนี้ เริ่มต้นเมื่อ Grätzel (Grätzel, 2005) ได้สังเคราะห์ ไดย์ N 3 (N 3 dye) รวมทั้ง TiO_2 โครงสร้างนาโน ที่มีพื้นฐานการรับแสงสูง ประสิทธิภาพ 10% มีความเป็นไปได้ (Ito et al, 2008) กลุ่มของ U.Bach และคณะ (Bach, et al., 1998) ได้ประดิษฐ์เซลล์จาก TiO_2 ที่มีรอยต่อพรุน (mesoporous TiO_2) โดยใช้ $\text{Ru (II) L}_2(\text{SCN})_2$ อิเล็กโทรไลต์ ให้ประสิทธิภาพประมาณ 0.74% และต่อมามีการพัฒนาเรื่อยมา ในปี 2001 กลุ่มของ K.Tennakone (Tennakone et al., 2001) ได้สังเคราะห์เซลล์ โดยแทน TiO_2 ด้วย SnO_2 พบว่าเซลล์ให้ประสิทธิภาพ 6.5 % แต่ไม่เสถียรภาพ ต่อมากลุ่มนี้ ได้ใช้ SnO_2 จับกับ ZnO โครงสร้างนาโน พบว่าทำให้เซลล์มีประสิทธิภาพ 4.9 % มีเสถียรภาพดีขึ้น (Bach, et al., 1998)

โดยสรุปเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ (1) ขั้ว working electrode TCO ที่ให้การยึดเกาะแก่ไททาเนียมไดออกไซด์ (nanocrystalline- TiO_2 layer) ที่ดูดกลืนสีย้อม ทำหน้าที่ working electrode (2) สารละลายอิเล็กโตรไลต์ iodide/triiodide redox ที่ทำหน้าที่ซัดเซยอิเล็กตรอนให้โมเลกุลสีย้อม และ (3) ขั้ว counter electrode TCO ที่เคลือบด้วย Pt/C แม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ใช้สารละลายอิเล็กโตรไลต์ของเหลวจะมีประสิทธิภาพสูงประมาณ 10 % แต่เสถียรภาพ ความคงทนของเซลล์ไม่ดีเนื่องจาก อิเล็กโตรไลต์ของเหลวเป็นสารที่ระเหยง่ายหากปิดไม่ดี (improperly sealed) หรือ แม้ปิดอย่างดีการซึมผ่าน (permeation) ของโมเลกุลน้ำกับออกซิเจน เข้าไปทำปฏิกิริยากับอิเล็กโตรไลต์ทำให้ประสิทธิภาพ การทำงานต่ำลง นอกจากนี้ยังเป็นปัญหาสำหรับการผลิตคือการออกแบบเซลล์เพื่อให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพนั้นจะต้องมีการแทนที่อิเล็กโตรไลต์ของเหลว (liquid electrolyte) ด้วยอิเล็กโตรไลต์ของแข็ง (solid electrolyte) (Hara and Arakawa, 2003) เนื่องจากอิเล็กโตรไลต์ของเหลวเป็นวัสดุที่ระเหยได้ง่าย (volatile) และผลิตไปสู่อุตสาหกรรมได้ยาก เพราะการผลิตจริงจะต้องโมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องประกอบด้วยเซลล์เล็ก ๆ ที่แยกออกจากกันทางเคมี (กล่าวคือแต่ละเซลล์ทำงานแยกอิสระจากกัน) และต่อกันทางไฟฟ้า (ต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มศักย์แรงดันไฟฟ้าและแบบขนานเพื่อเพิ่มกระแสด้วยลวดตัวนำเล็ก ๆ ที่เป็นฟิล์มบาง) เพื่อที่จะได้กำลังไฟฟ้าสูงเพียงพอต่อการใช้งาน จะทำได้ยากมากเมื่อใช้อิเล็กโตรไลต์ของเหลว

2.3 การพัฒนาอิเล็กโตรไลต์ของแข็ง Solid-state DSSCs (hole conductors)

Hole conductors ที่ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอิเล็กโตรไลต์ของแข็ง จัดว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) ที่ประกอบด้วย ionic liquid electrolytes และ polymer electrolytes บางที่เรียกว่า Quasi solid-state electrolyte โดยทั่วไป การสังเคราะห์ Hole conductors ควรพิจารณาปัจจัยที่มีสำคัญ ต่อไปนี้

- (1) สารอิเล็กโตรไลต์ของแข็ง (Hole conductor) จะต้องสามารถส่งผ่าน holes จากโมเลกุลสีย้อมหลังจากโมเลกุลสีย้อมฉีด (eject) อิเล็กตรอนไปสู่ TiO_2 นั่นคือขอบบนของ valence band ของ p-type semiconductor จะต้องอยู่ที่เหนือ ground state ของโมเลกุลสีย้อมไวแสง
- (2) สารอิเล็กโตรไลต์ของแข็งจะต้องสามารถทำเป็นฟิล์มติดกับ TiO_2 nanocrystalline layer และแก้ว TCO
- (3) วิธีการทำเป็นฟิล์มของ p-type semiconductor จะต้องไม่ทำให้ TiO_2 nanocrystalline layer ละลายหรือเสื่อมคุณภาพ
- (4) สารอิเล็กโตรไลต์ของแข็งจะต้องโปร่งแสงในช่วง visible light หรือถ้าดูดกลืนแสงจะต้องมีประสิทธิภาพในการฉีด (eject) อิเล็กตรอนเหมือนเช่น โมเลกุลสีย้อม

สารอิเล็กโตรไลต์ของแข็ง (Hole conductor) อนินทรีย์หลายชนิด เช่น CuI , CuBr หรือ CuSCN (Tennakone et al., 2001) มีสมบัติทั้ง 4 ประการข้างต้น แต่ต้องทำเป็นฟิล์มในสุญญากาศและมีราคาต้นทุนที่แพง ดังนั้น แนวโน้มการพัฒนา polymer electrolyte ที่มีสมบัติและสามารถนำ hole ได้ ซึ่ง polymer electrolyte สามารถทำได้ง่ายและจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงอิเล็กโตรไลต์ของแข็ง polymer electrolyte มีราคาต้นทุนที่ถูกลงกว่า