



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การประดิษฐ์เครื่องฉีดพ่นสารผงอนุภาคระดับนาโนภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอซึ่ง
ทดสอบโดยใช้สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าเว็คร์กึ่ง
สำหรับการประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

Fabrication of Nano-Powder Spray Coating Machine under Uniform
Electric Field with Using the Titanium Dioxide (TiO_2) Colloidal
Solution as the Working Electrode for Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ธนชัย พลเคน
อภิสิทธิ์ เกียรติเจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

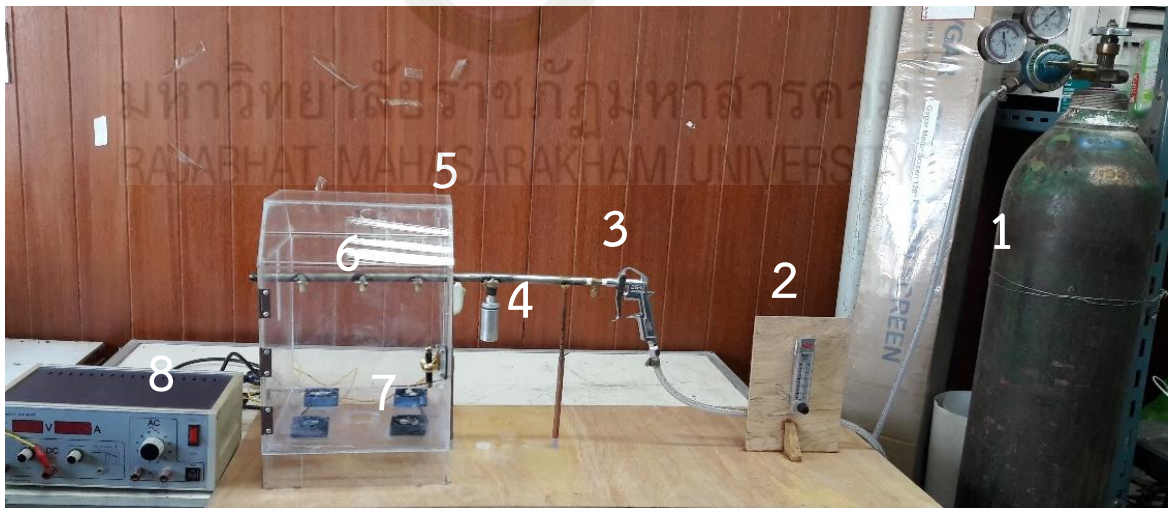
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

บทที่ 4 ผลการวิจัย

เริ่มทำการออกแบบและสร้างเครื่องฉีดพ่นสารผงอนุภาคระดับนาโนโดยออกแบบและสร้างให้มีความเหมาะสมของอัตราการเคลือบได้ แล้วทำการเคลือบโดยออกแบบเงื่อนไข อัตราการเคลือบ ลงบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (FTO) เสร็จแล้วนำขั้วไฟฟ้าเวิร์กิ้งที่เคลือบแล้วไปตรวจวัดสมบัติต่างๆ ดังนี้ สมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) สมบัติการสะท้อนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) วัดความหนาด้วยภาพถ่ายภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพทางสัณฐาน และความหนาของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากการเตรียมชั้นกระจังแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่น

4.1 ผลของการประดิษฐ์เครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง



รูปที่ 4.1 ระบบฉีดพ่นจากการพัฒนาเครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

จากรูปที่ 4.1 ผลการพัฒนาเครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จะเห็นว่าหมายเลข 1คือถังแก๊สออกซิเจน (Oxygen) ใช้ความดันที่ 30

แรงปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ในการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ หมายเลข 2 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของแก๊สที่ 4 ลิตรต่อนาที หมายเลข 3 คือปืนเป่าลมที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นวาล์วควบคุมฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ หมายเลข 4 คือที่กระบอกใส่สารโทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ใช้ในการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ โดยกระบอกมีความสูง 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร วัสดุทำจากอะลูมิเนียมหมายเลข 5 คือกล่องอะคริลิกที่ใช้ป้องกันไม่ให้อนุภาคสารโทเทเนียมไดออกไซด์ กระจายออกนอกกล่อง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้วิจัย ขณะฉีดพ่นได้ โดยกล่องอะคริลิกมีความกว้าง 25 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร และฐานของกล่องอะคริลิกสูง 5 เซนติเมตร หมายเลข 6 คือหัวฉีดระดับนาโน มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 0.01 มิลลิเมตร วัสดุทำจากทองเหลือง หมายเลข 7 คือพัดลมระบายความร้อนของคอมพิวเตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นฐานวางกระจกในการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ โดยขณะฉีดพ่นพัดลมแต่ละตัวจะวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้ ตัวที่ 1 (12 V, 0.12 A), ตัวที่ 2 (12 V, 0.12 A), ตัวที่ 3 (12 V, 0.11 A) และตัวที่ 4 (12 V, 0.11 A) หมายเลข 8 คือแหล่งจ่ายไฟฟ้า (power supply) ให้กับพัดลมระบายความร้อนของคอมพิวเตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นฐานวางกระจก

4.2 ผลของขั้นตอนการเตรียมชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์

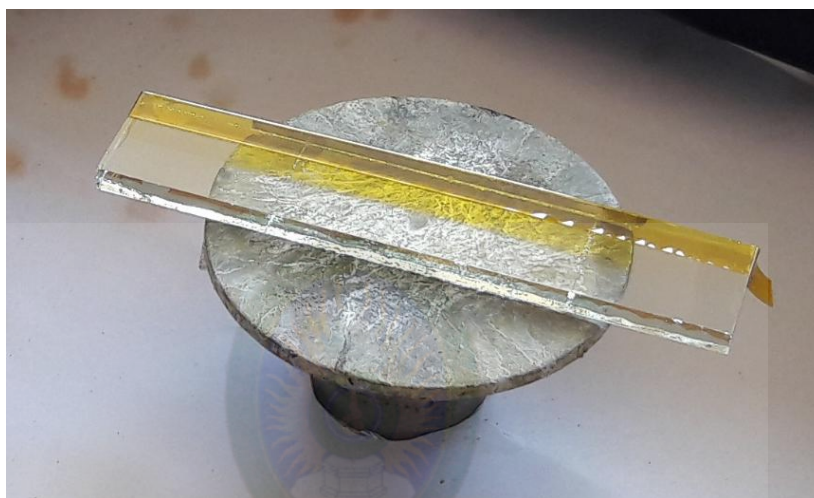
4.2.1 ผลจากการเตรียมกระจกนำไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการทำความสะอาด

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ากระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการทำความสะอาด จะมีความใส ไม่มีคราบของสิ่งสกปรกปนเปื้อนที่กระจกนำไฟฟ้า เช่น คราบน้ำมัน คราบรอยนิ้วมือ คราบฝุ่น เป็นต้น เมื่อผ่านการทำความสะอาดแล้ว จากนั้นก็จะเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดปราศจากความชื้น เนื่องจากความชื้นจะมีผลกับการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้

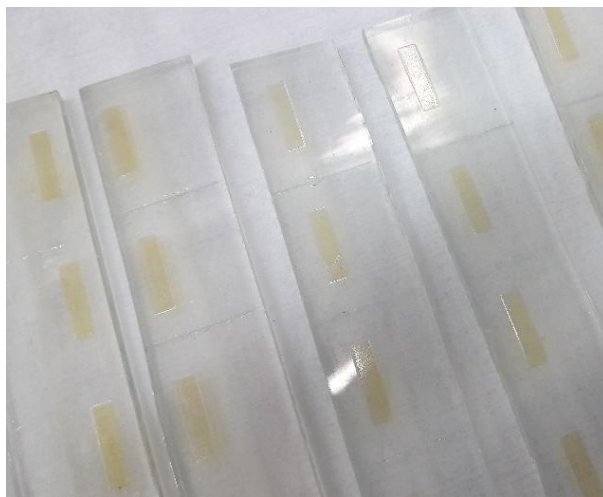
4.2.2 ผลจากการเคลือบชั้น Blocking Layer TiO_2 ด้วยเทคนิคสปิน (spin coating)



รูปที่ 4.3 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้น blocking layer TiO_2 ด้วยเทคนิคสปิน

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ากระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบด้วยชั้น blocking layer TiO_2 ด้วยเทคนิคสปิน จะมีความใส โปร่งแสง จากนั้นก็จะเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดปราศจากความชื้น เพื่อเตรียมทำการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน (screen print) ต่อไป

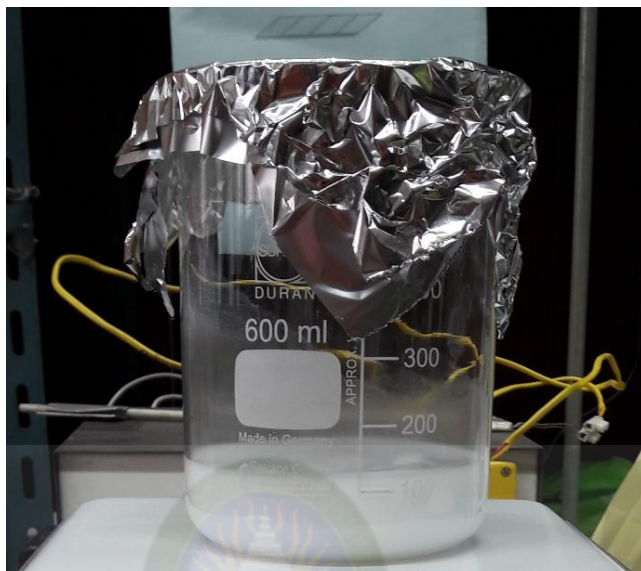
4.2.3 ผลจากการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน (Screen print)



รูปที่ 4.4 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่ากระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ (PST-18NR : ขนาดอนุภาค 18 นาโนเมตร) ด้วยเทคนิคสกรีน (screen print) บริเวณที่ทำการสกรีนมีพื้นที่ขนาด 0.5×1 ตารางเซนติเมตร สารที่ใช้ทำการสกรีนจะมีลักษณะสีขาวขุ่นเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นก็จะเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดปราศจากความชื้น เพื่อเตรียมทำการเคลือบชั้นกระจกเงาใสไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดยาต่อไป

4.2.4 ผลจากการเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับฉีดยึดเพื่อทำชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 4.5 การเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับฉีดยึดเพื่อทำชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับฉีดยึดเพื่อทำชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ หลังจากทำการเตรียมสารจะได้สารที่มีสีขาวขุ่นที่ความเข้มข้น 0.75 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เมื่อเตรียมเสร็จก็จะเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดเพื่อเตรียมใช้ในการเคลือบชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดยึดต่อไป

4.2.5 ผลจากการเคลือบชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดยึด

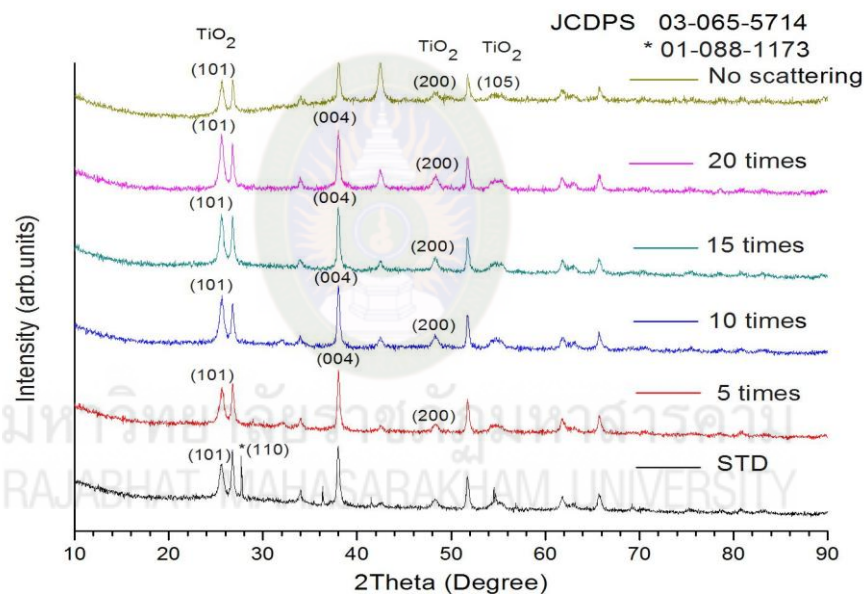


รูปที่ 4.6 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดยึด

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่ากระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นกระจกเงาแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดย่น จะมีอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ เกาะบนกระจกนำไฟฟ้าทั่วบริเวณ ยกเว้นบริเวณที่ติดเทปปิดขั้วไฟฟ้า ซึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ผ่านการฉีดย่นจะมีสีขาวขุ่น จากนั้นก็จะเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด เพื่อเตรียมทำการเผาต่อไป

4.3 ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง เชิงสัณฐาน เชิงแสง และประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากการเตรียมชั้นกระจกเงาอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดย่น

4.3.1 ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง (XRD)



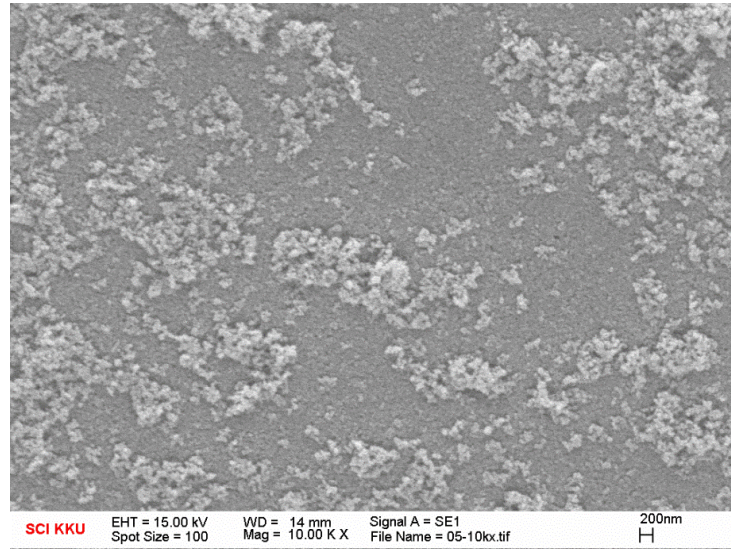
รูปที่ 4.7 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นรองรับกระจกนำไฟฟ้า (FTO)

จากลักษณะพีคหรือรูปแบบการเกิดความเข้มของการเลี้ยวเบน จากรูปที่ 4.7 พบว่า ลักษณะระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบไม่มีชั้นกระจกเงา พบระนาบ (101) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 25.281$ องศา, ระนาบ (200) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 48.376$ องศาและระนาบ (105) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 53.888$ องศา ลักษณะระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงฉีดย่นชั้นกระจกเงาที่ 5 ครั้ง พบระนาบ(101) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 25.686$ องศา, ระนาบ (200) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 48.791$ องศา และระนาบ (004) ที่

ตำแหน่ง $2\theta = 38.396$ องศา ลักษณะระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิดพ่นชั้นกระจังแสงที่ 10 ครั้ง พบระนาบ (101) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 25.686$ องศา, ระนาบ (200) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 48.791$ องศาและระนาบ (004) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 38.396$ องศา ลักษณะระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิดพ่นชั้นกระจังแสงที่ 15 ครั้งพบระนาบ (101) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 25.354$ องศา, ระนาบ (200) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 48.077$ องศา และระนาบ (004) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 37.785$ องศา ลักษณะระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิดพ่นชั้นกระจังแสงที่ 20 ครั้ง พบระนาบ (101) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 25.367$ องศา, ระนาบ (200) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 48.158$ องศาและระนาบ (004) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 37.909$ องศา ลักษณะระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบเซลล์มาตรฐานพบระนาบ (101) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 25.281$ องศาและระนาบ (110) ที่ตำแหน่ง $2\theta = 27.717$ องศา ที่มีโครงสร้างแบบรูไทล์ (rutile) ซึ่งต่างจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเซลล์อื่นๆที่มีโครงสร้างแบบอนาเทส (anatase) เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบเซลล์มาตรฐานทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างหลังจากแช่สารสีย้อมมาตรฐาน จึงทำให้โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบเซลล์มาตรฐานมีโครงสร้างที่แตกต่างกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเซลล์อื่นๆ และส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงด้วย จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแต่ละเงื่อนไขมีระนาบที่ตรงกัน ที่แสดงให้เห็นว่าสารไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นโครงสร้างแบบอนาเทสจริง

4.3.2 ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงสัญญาณ

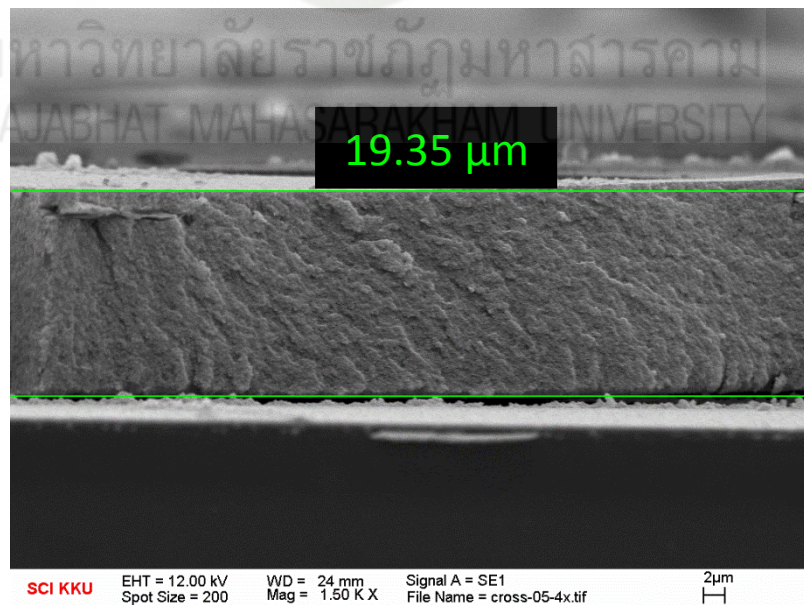
จากการศึกษาเงื่อนไขการฉีดพ่นเคลือบแบบแผ่นรองรับหมุนพบว่า เงื่อนไขการฉีดพ่นเคลือบแบบแผ่นรองรับหมุนเป็นจำนวน 5 ครั้ง ลักษณะของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ เคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า ขนาด 1.5×2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ ดังรูปที่ 4.8



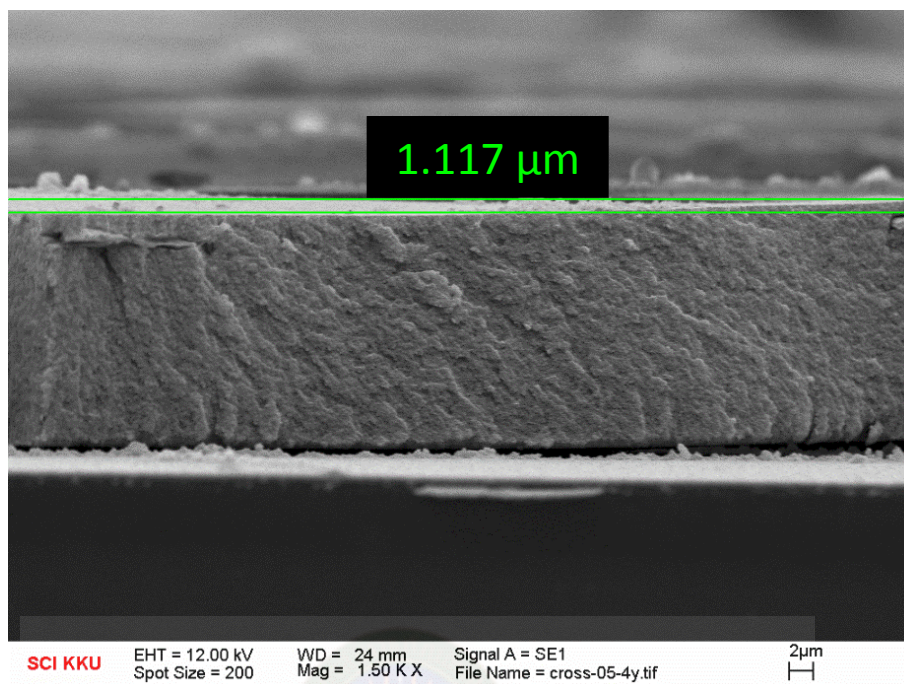
รูปที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับชนิดฟืนเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เมื่อนำมาศึกษาด้านภาคตัดขวางของแผ่นรองรับชนิดฟืนเคลือบที่ 5 ครั้งแสดงได้ ดังรูปที่

4.9 - 4.10



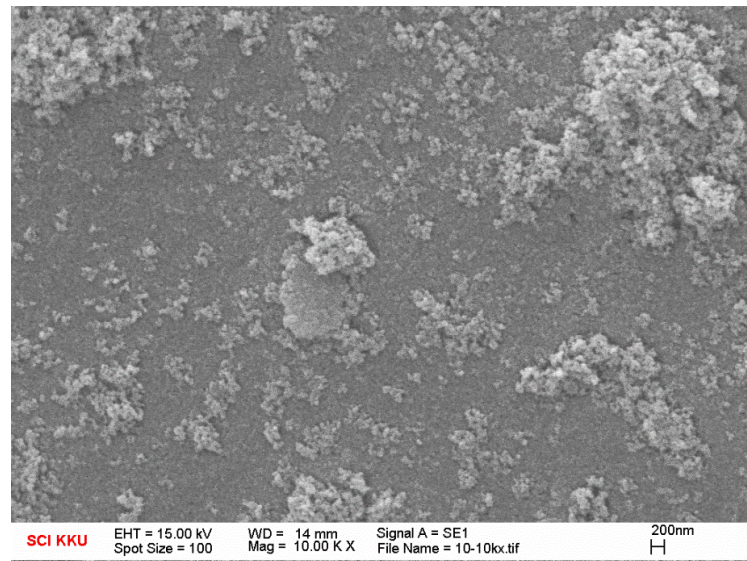
รูปที่ 4.9 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับชนิดฟืนเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 4.10 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยึดพื้นเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

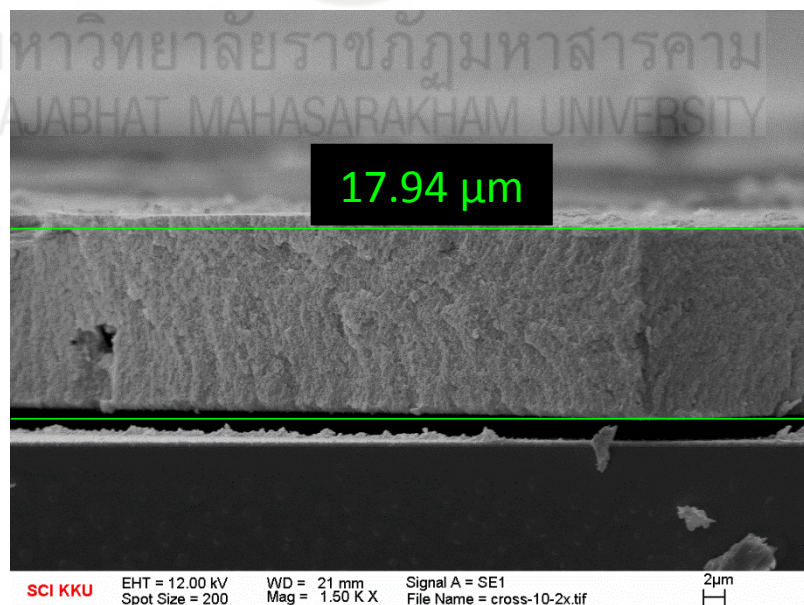
จากรูปที่ 4.9 -4.10 เป็นกระจกนำไฟฟ้าที่ทำการฉีดยึดพื้นเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุนที่จำนวน 5 ครั้ง (แผ่นรองรับเดียวกันกับ รูปที่ 4.8) มีความหนาของชั้น blocking layer และ ชั้นเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน (screen print) ประมาณ 19.35 ไมโครเมตร รูปที่ 4.9 จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และแผ่นรองรับ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ปกคลุมค่อนข้างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงไม่ทำให้เกิดรูพรุนระดับนาโนขึ้นมาจาก รูปที่ 4.10 มีความหนาของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดยึดพื้นประมาณ 1.117 ไมโครเมตรจะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ และชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ค่อนข้างไม่กระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดอนุภาคระดับนาโนขึ้นน้อยมาก

จากการศึกษาเงื่อนไขการฉีดยึดพื้นเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุนพบว่าเงื่อนไขที่แสดงให้เห็นการปกคลุมของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ ทั่วทั้งแผ่นรองรับที่ดีที่สุดคือ เงื่อนไขการฉีดยึดพื้นเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุนที่จำนวน 10 ครั้ง ลักษณะของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า ขนาด 1.5 x 2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ ดังรูปที่ 4.11

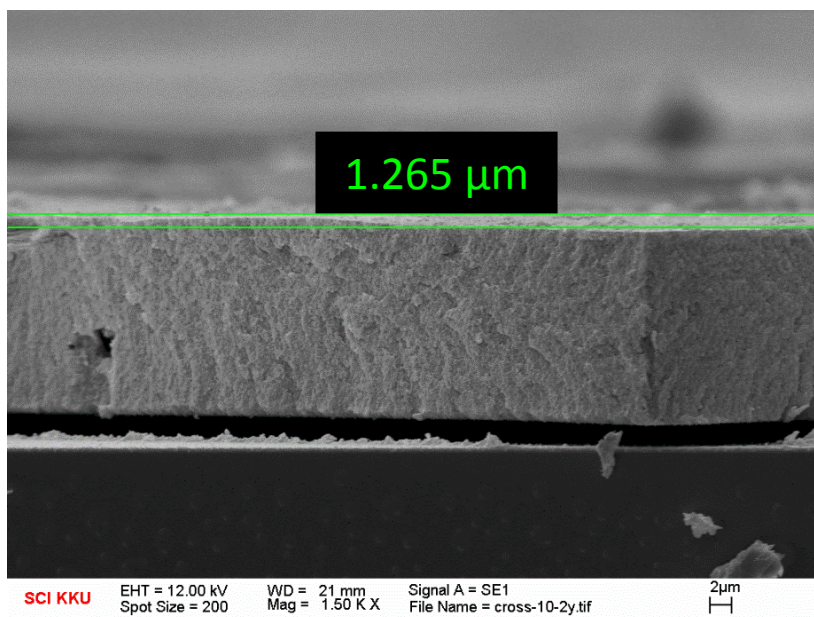


รูปที่ 4.11 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เมื่อนำมาศึกษาด้านภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 10 ครั้งแสดงได้ดังรูปที่ 4.12- 4.13



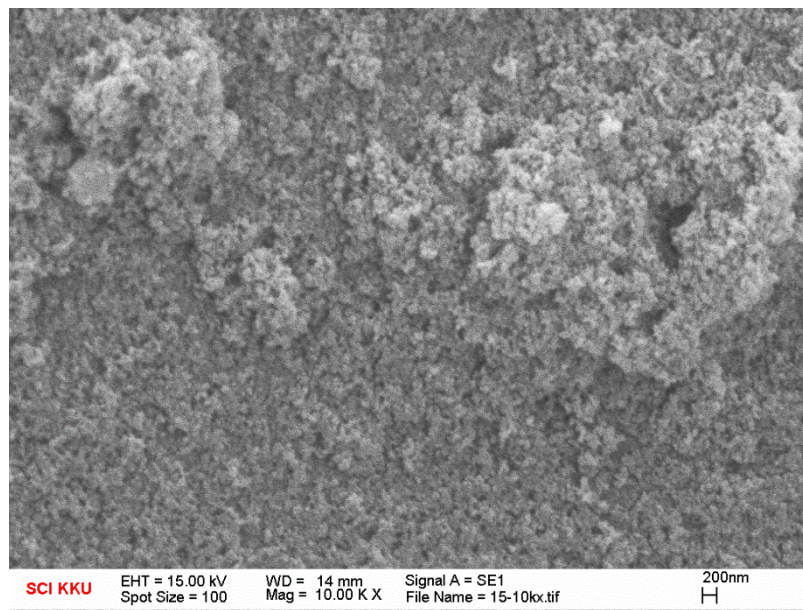
รูปที่ 4.12 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 4.13 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยกเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

จากรูปที่ 4.12-4.13 เป็นกระเจกนำไฟฟ้าที่ทำการฉีดยกเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุน ที่จำนวน 10 ครั้ง (แผ่นรองรับเดียวกันกับ รูปที่ 4.11) มีความหนาของชั้น blocking layer และ ชั้นเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีนประมาณ 17.94 ไมโครเมตร รูปที่ 4.12 จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และแผ่นรองรับ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ปกคลุมค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจากรูปที่ 4.13 มีความหนาของชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคการฉีดยกประมาณ 1.285 ไมโครเมตร จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ และชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ค่อนข้างกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดอนุภาคระดับนาโนขึ้นมากมีความหนาและมีขนาดของการยึดเกาะที่เหมาะสมจึงทำให้ไม่มีการหลุดลอกของชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีความหนาที่ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

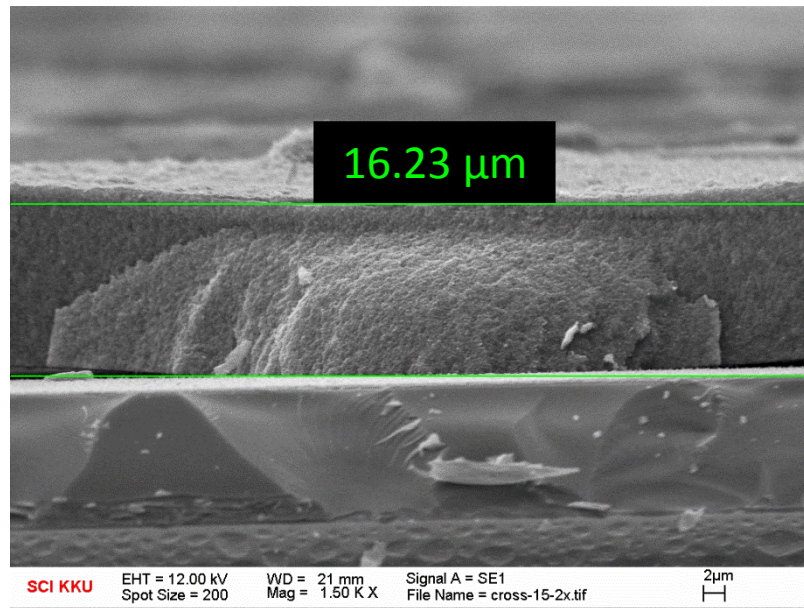
จากการศึกษาเงื่อนไขการฉีดยกเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุนพบว่าเงื่อนไขการฉีดยกเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุนที่จำนวน 15 ครั้ง ลักษณะของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ เคลือบบนกระเจกนำไฟฟ้า ขนาด 1.5 x 2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงได้ ดังรูปที่ 4.14



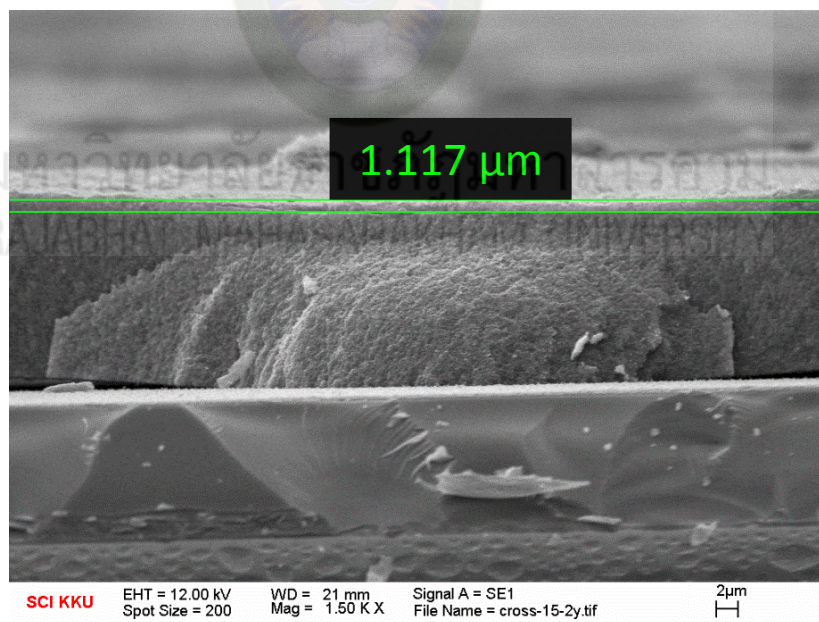
รูปที่ 4.14 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับชนิดฟองเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เมื่อนำมาศึกษาด้านภาคตัดขวางของแผ่นรองรับชนิดฟองเคลือบที่ 15 ครั้ง แสดงได้ ดังรูปที่ 4.15 - 4.16

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
 RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



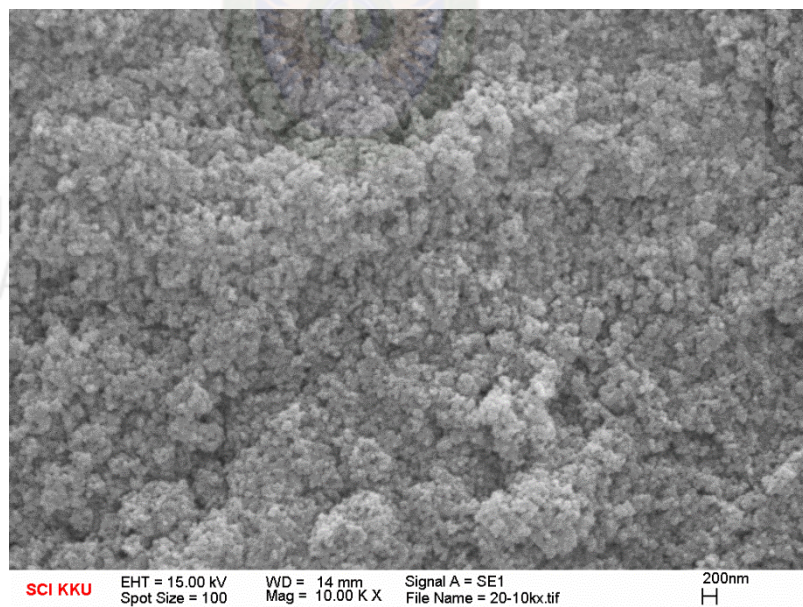
รูปที่ 4.15 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยกเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 4.16 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยกเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

จากรูปที่ 4.15-4.16 เป็นกระจกนำไฟฟ้าที่ทำการฉีดยึดแผ่นเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุน ที่จำนวน 15 ครั้ง (แผ่นรองรับเดียวกันกับ รูปที่ 4.14) มีความหนาของชั้น blocking layer และ ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน ประมาณ 16.23 ไมโครเมตร รูปที่ 4.15 จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และแผ่นรองรับ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ปกคลุมค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดรูพรุนระดับนาโนขึ้นมาก จาก รูปที่ 4.16 มีความหนาของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคการฉีดยึด ประมาณ 1.117 ไมโครเมตร จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ และชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ค่อนข้างกระจายซ้อนทับกันทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดอนุภาคระดับนาโนที่เกิดการซ้อนทับกันขึ้นมาก ซึ่งมีความหนาและมีการยึดเกาะที่ไม่เหมาะสม

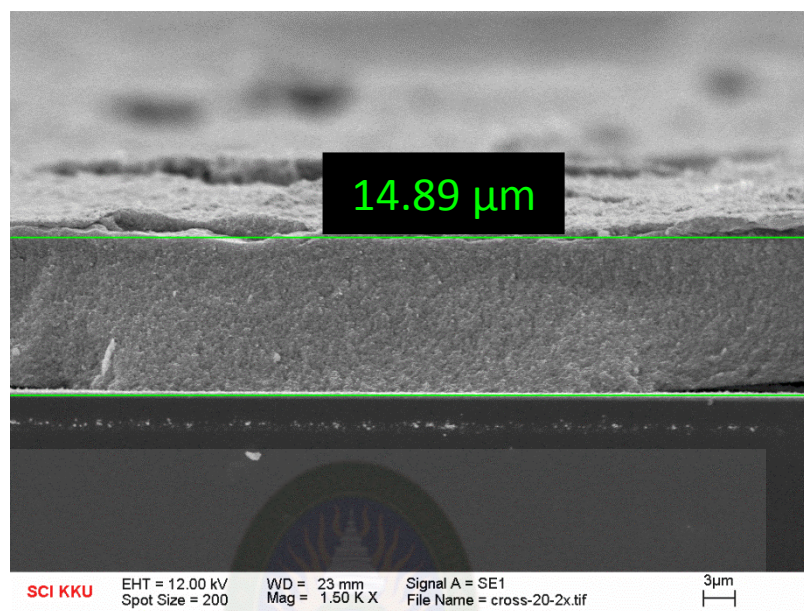
จากการศึกษาเงื่อนไขการฉีดยึดแผ่นเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุนพบว่าเงื่อนไขการฉีดยึดแผ่นเคลือบแผ่นรองรับแบบหมุนที่จำนวน 20 ครั้ง ลักษณะของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ เคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า ขนาด 1.5 x 2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดยึดแผ่นเคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

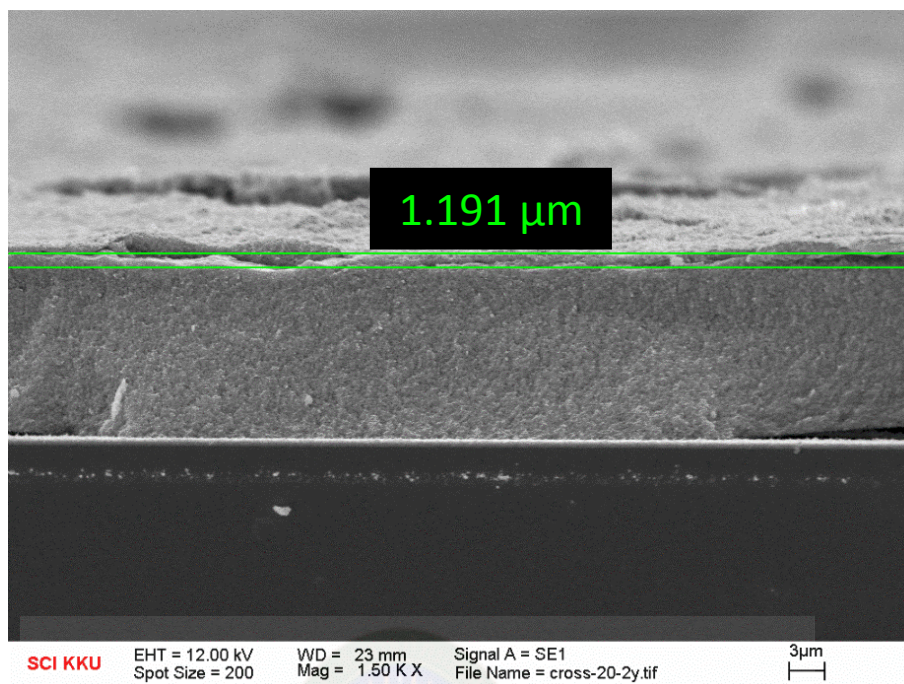
เมื่อนำมาศึกษาด้านภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยกที่เคลือบที่ 20 ครั้ง แสดงได้ดังรูปที่

4.18 - 4.19



รูปที่ 4.18 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยกที่เคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

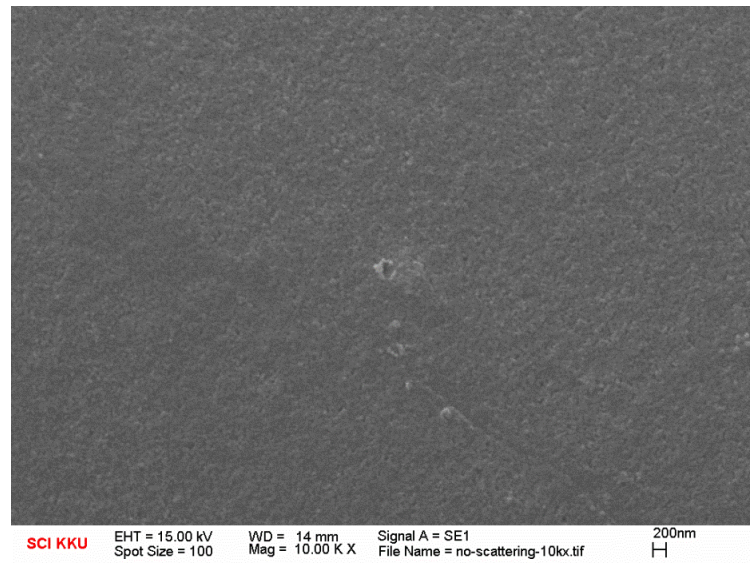
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.19 ลักษณะภาคตัดขวาง (crosssection) ของแผ่นรองรับฉีดยกเหนือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

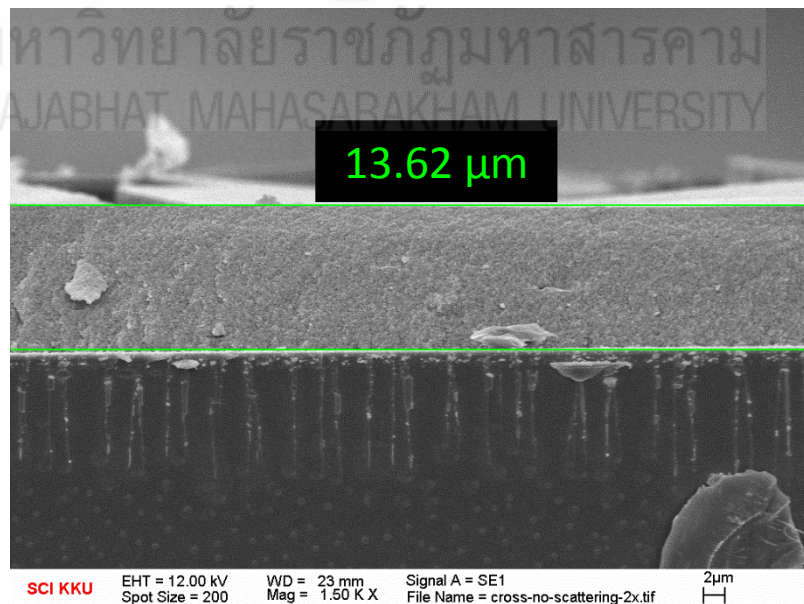
จากรูปที่ 4.18-4.19 เป็นกระจกนำไฟฟ้าที่ทำการฉีดยกเหนือบแผ่นรองรับแบบหมุน ที่จำนวน 20 ครั้ง (แผ่นรองรับเดียวกันกับ รูปที่ 4.17) มีความหนาของชั้น blocking layer และ ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน ประมาณ 14.89 ไมโครเมตร รูปที่ 4.18 จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และแผ่นรองรับ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ปกคลุมค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดรูพรุนระดับนาโนขึ้นมาก จาก รูปที่ 4.19 มีความหนาของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคการฉีดยกเหนือบ ประมาณ 1.191 ไมโครเมตร จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ และชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ค่อนข้างกระจายซ้อนทับกันมากทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดอนุภาคระดับนาโนที่เกิดการซ้อนทับกันขึ้นมาก มีความหนาและการยึดเกาะที่ไม่เหมาะสมจึงทำให้มีการหลุดลอกของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์

จากการศึกษาเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ ลักษณะของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ เคลือบบนกระจกนำไฟฟ้า ขนาด 1.5 x 2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ลักษณะทางกายภาพของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

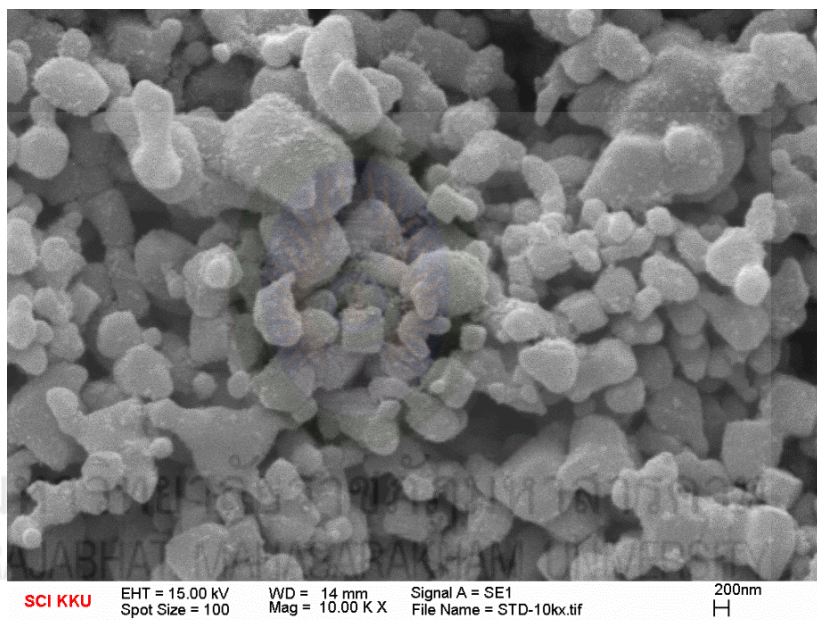
เมื่อนำมาศึกษาด้านภาคตัดขวางของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

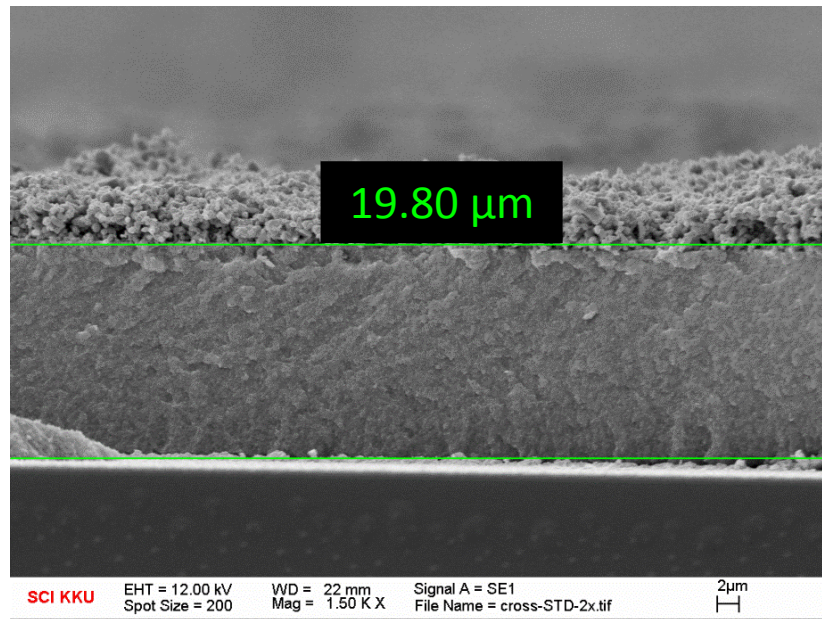
จากรูปที่ 4.21 เป็นกระจกนำไฟฟ้าของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระจังแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ (แผ่นรองรับเดียวกันกับ รูปที่ 4.20) มีความหนาของชั้น blocking layer และชั้นเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน ประมาณ 13.62 ไมโครเมตร จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และแผ่นรองรับ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ปกคลุมค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดรูพรุนระดับนาโนขึ้นมาก

จากการศึกษาเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ ลักษณะของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ เคลือบบนกระจกนำไฟฟ้าขนาด 1.5 x 2 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ ดังรูปที่ 4.22

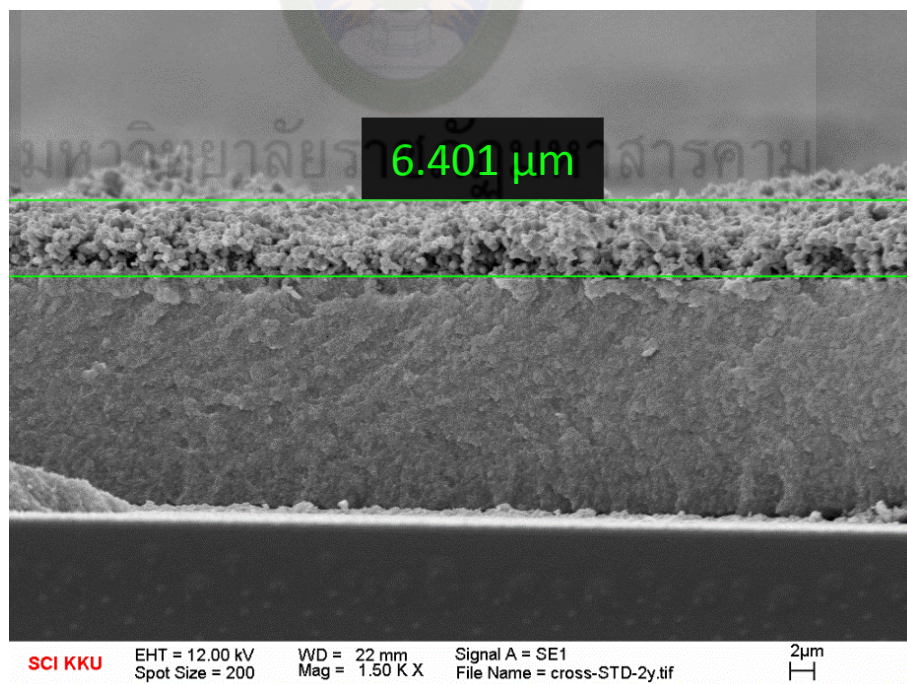


รูปที่ 4.22 ลักษณะทางกายภาพของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เมื่อนำมาศึกษาด้านภาคตัดขวางของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ แสดงได้ ดังรูปที่ 4.23-4.24



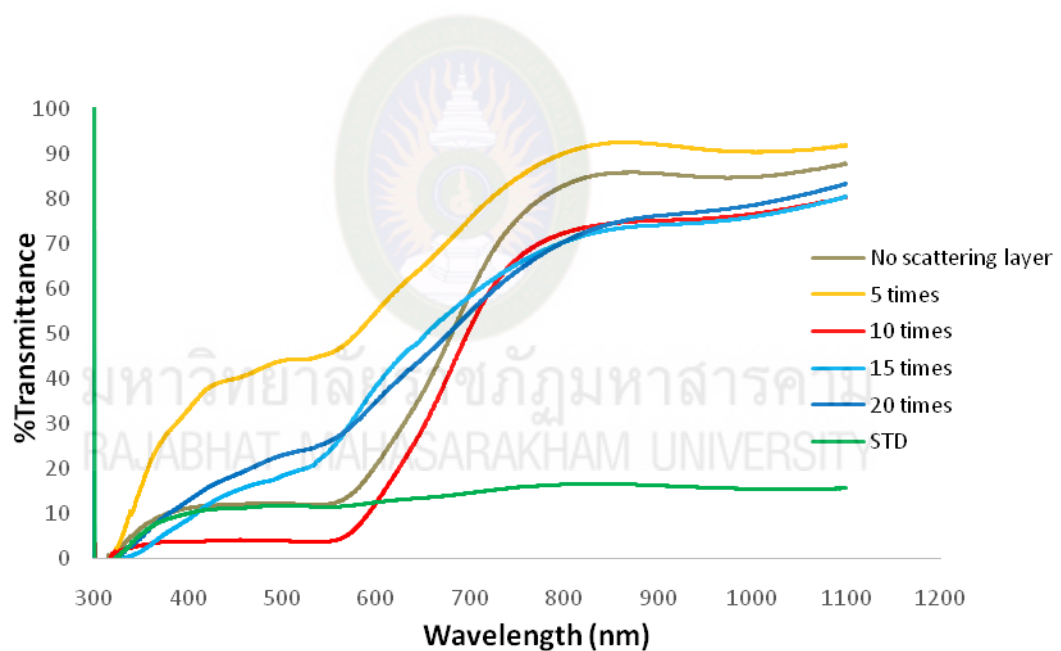
รูปที่ 4.23 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 4.24 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

จากรูปที่ 4.23 -4.24 เป็นกระจกนำไฟฟ้าของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ (แผ่นรองรับเดียวกันกับ รูปที่ 4.22) มีความหนาของชั้น blocking layer และชั้นเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสกรีน ประมาณ 19.80 ไมโครเมตร รูปที่ 4.23 จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และแผ่นรองรับ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ปกคลุมค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดรูพรุนระดับนาโนขึ้นมาจากรูปที่ 4.24 มีความหนาของชั้นกระจกแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิค สกรีน ประมาณ 6.401 ไมโครเมตร จะมีการเกาะตัวระหว่างชั้นกระจกแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ และชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ค่อนข้างกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นจึงทำให้เกิดอนุภาคระดับนาโนขึ้นมา

4.3.3 ผลของการวิเคราะห์สมบัติการส่องผ่านของแสง

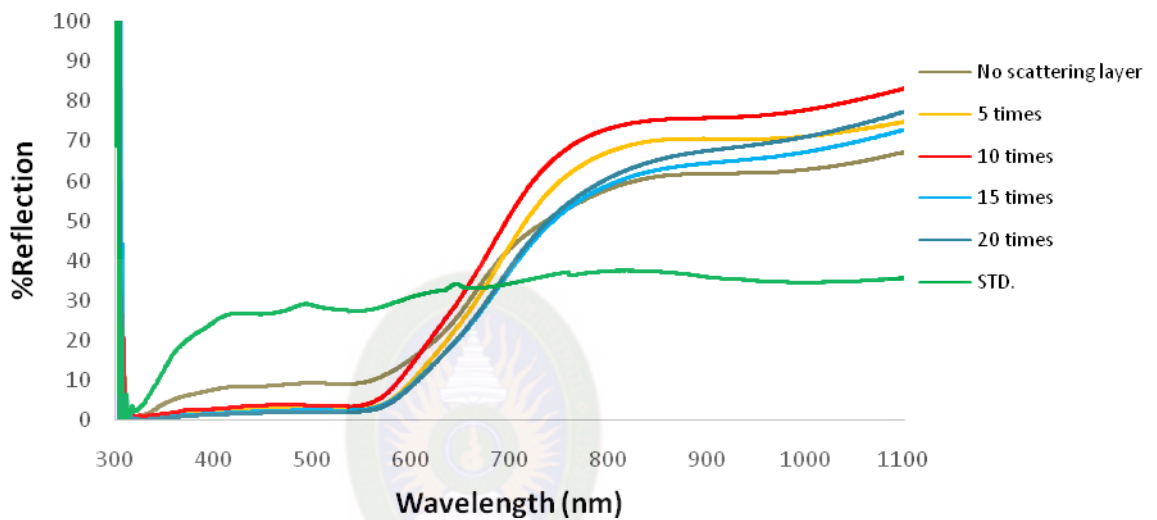


รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระจกแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นว่าที่เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของชั้นกระจกแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ในช่วงแสงขาว (visible light) ที่เคลือบด้วยเงื่อนไขการฉีดพ่นที่ 10 ครั้งมีลักษณะที่ยอมให้แสงทะลุผ่านได้น้อยที่สุด ส่งผลให้พลังงานแสงตกกระทบลงบนเซลล์ได้มาก เซลล์สามารถดูดกลืนแสงได้ดี ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นกระจกแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ในช่วงแสงขาว ที่เคลือบด้วยเงื่อนไขการฉีดพ่นที่ 5, 15, 20 ครั้ง แบบไม่มีชั้นกระจกแสง และเซลล์

มาตรฐาน การฉีดยาที่ 10 ครั้งจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในการเตรียมชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

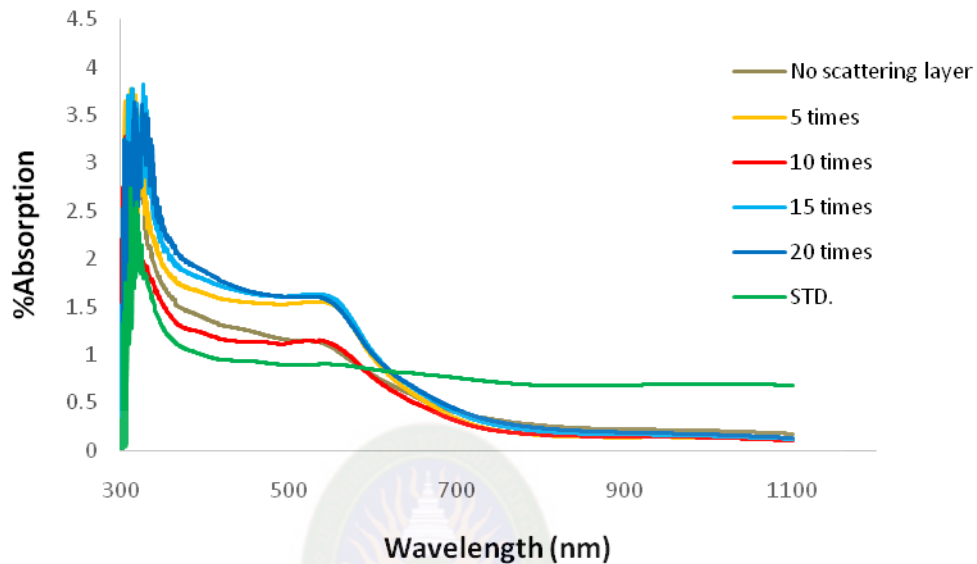
4.3.4 ผลของการวิเคราะห์สมบัติการสะท้อนของแสง



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคฉีดยาในแต่ละเงื่อนไข

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของชั้นกระจิงแสงไททาเนียมไดออกไซด์ในช่วงแสงขาวที่เคลือบด้วยเงื่อนไขการฉีดยาที่ 10 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับที่ต่ำ ส่งผลให้พลังงานแสงเกิดการกระจิงภายในเซลล์ที่สูงไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เคลือบด้วยเงื่อนไขการฉีดยาที่ 5, 15, 20 ครั้ง แบบไม่มีชั้นกระจิงแสง และเซลล์มาตรฐาน การฉีดยาที่ 10 ครั้งจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในการเตรียมชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

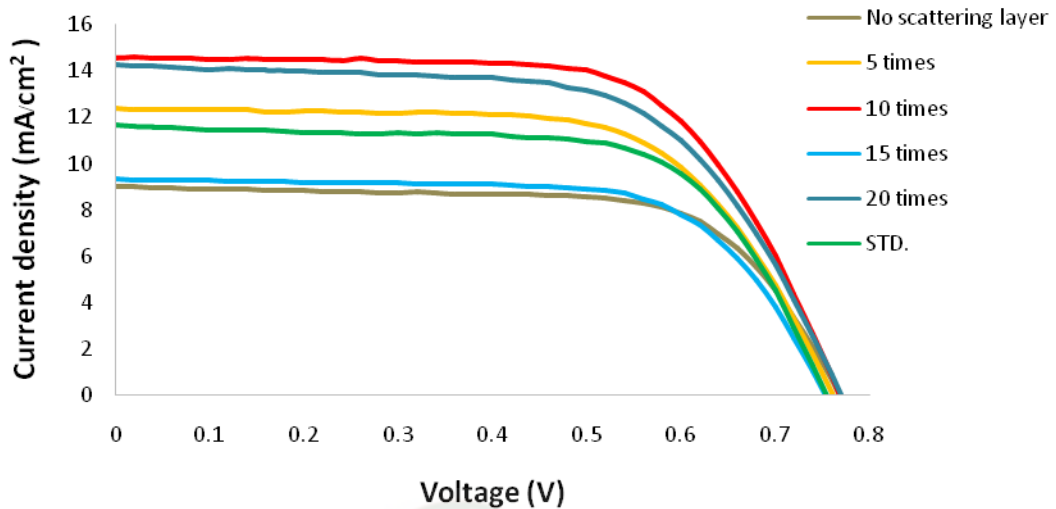
4.3.5 ผลของการวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสง



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่าที่เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงของชั้นกระจิงแสงไททาเนียมไดออกไซด์ในช่วงแสงขาวที่เคลือบด้วยเงื่อนไขการฉีดพ่นที่ 10 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงได้น้อย หมายความว่าชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ มีการกระจิงของแสงทุกทิศทางจึงส่งผลให้มีการดูดกลืนแสงได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ในช่วงแสงขาว ที่เคลือบด้วยเงื่อนไขการฉีดพ่นที่ 5, 15, 20 ครั้ง แบบไม่มีชั้นกระจิงแสง และเซลล์มาตรฐาน การฉีดพ่นที่ 10 ครั้ง จึงเหมาะกับการนำไปใช้ในการเตรียมชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

4.3.6 ผลของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และความหนาแน่นกระแส (J) ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าปริมาณความหนาแน่นของกระแสที่ได้จากการวัดประสิทธิภาพของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่า $J_{sc} = 9.02$ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร, $V_{oc} = 0.77$ โวลต์, ค่าฟิวเพคเตอร์ (FF) = 0.68 และค่าประสิทธิภาพ (η) = 4.72 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของเซลล์ที่ได้จากเงื่อนไขการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 5 ครั้ง มีค่า $J_{sc} = 12.40$ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร, $V_{oc} = 0.76$ โวลต์, ค่าฟิวเพคเตอร์ (FF) = 0.65 และค่าประสิทธิภาพ (η) = 6.11 เปอร์เซ็นต์ การฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง มีค่า $J_{sc} = 14.57$ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร, $V_{oc} = 0.77$ โวลต์, ค่าฟิวเพคเตอร์ (FF) = 0.65 และค่าประสิทธิภาพ (η) = 7.33 เปอร์เซ็นต์ การฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 15 ครั้ง มีค่า $J_{sc} = 9.33$ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร, $V_{oc} = 0.75$ โวลต์, ค่าฟิวเพคเตอร์ (FF) = 0.68 และค่าประสิทธิภาพ (η) = 4.76 เปอร์เซ็นต์ การฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 20 ครั้ง มีค่า $J_{sc} = 14.27$ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร, $V_{oc} = 0.77$ โวลต์, ค่าฟิวเพคเตอร์ (FF) = 0.62 และค่าประสิทธิภาพ (η) = 6.80 เปอร์เซ็นต์ การฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ของเซลล์มาตรฐาน มีค่า $J_{sc} = 11.65$ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร, $V_{oc} = 0.75$ โวลต์, ค่าฟิวเพคเตอร์ (FF) = 0.67 และค่าประสิทธิภาพ (η) = 5.84 เปอร์เซ็นต์

จากการวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง การฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง มีค่าประสิทธิภาพสูงสุด ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยการฉีดพ่นมีผลต่อการเตรียมชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียม

ไดออกไซด์ ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงและส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของเซลล์อาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วย

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความแตกต่างของการเตรียมชั้นกระจังแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข

เงื่อนไข	ความหนาของชั้น กระจังแสง(μm)	I_{sc} (mA)	J_{sc} (mA/ cm^2)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
ฉีดพ่นที่ 5 ครั้ง	1.117	3.0996	12.3987	0.7604	0.6480	6.1106
ฉีดพ่นที่ 10 ครั้ง	1.265	3.6439	14.5757	0.7681	0.6547	7.3308
ฉีดพ่นที่ 15 ครั้ง	1.117	2.3310	9.3242	0.7526	0.6790	4.7658
ฉีดพ่นที่ 20 ครั้ง	1.191	3.5680	14.2721	0.7698	0.6194	6.8059
No scattering	-	2.2556	9.0227	0.7677	0.6807	4.7161
STD.	6.401	2.9119	11.6478	0.7543	0.6650	5.8437
หมายเหตุ : Input Power 100 mW/cm^2 , AM 1.5						

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

1. การประดิษฐ์ เครื่องเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์แบบฉีดยาน้ำที่ทำการพัฒนานั้นสามารถใช้เตรียมชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ได้จริง นอกจากนี้ยังสามารถฉีดยาน้ำสารผลระดับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่ง โดยสมรรถนะของเครื่องฉีดยาน้ำสารผลระดับนาโนเมตรที่สร้างขึ้น ปรับอัตราการเคลือบด้วย จำนวนรอบ และแรงดันแก๊ส สามารถปรับการหมุนของแผ่นรองรับได้ ปรับระยะเวลาการฉีดยาน้ำได้

2. จากการศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้างของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้า (FTO) พบว่าชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ มีความเป็นผลึกค่อนข้างสูง และมีอนุภาคระดับนาโนมีขนาดของผลึกเฉลี่ยเท่ากับ 100 นาโนเมตร

3. จากการศึกษาสมบัติการส่องผ่านแสง การสะท้อนแสง และการดูดกลืนแสงของชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ บนกระจกนำไฟฟ้า พบว่า การฉีดยาน้ำชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ จำนวน 10 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงที่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงแสงขาว มีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนที่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงได้ เพียง 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการฉีดยาน้ำชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ จำนวน 10 ครั้ง เหมาะกับการนำไปใช้ในการเตรียมชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

4. จากการศึกษาหาเงื่อนไขการเคลือบชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ แบบฉีดยาน้ำที่เหมาะสมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง พบว่าการฉีดยาน้ำชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ จำนวน 10 ครั้ง ที่ความหนา 1.265 ไมโครเมตร ให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดถึง 7.33 เปอร์เซ็นต์ และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบไม่มีชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ จะมีประสิทธิภาพมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบบไม่มีชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ และเซลล์มาตรฐานแบบมีชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ อีกด้วย

5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ในการฉีดยาน้ำชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำการพัฒนาเครื่องเพื่อใช้ในการเคลือบเป็นผลทำให้การฉีดยาน้ำควบคุมสารในการฉีดยาน้ำได้ยาก

2. สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ใช้ในการฉีดยาเคลือบชั้นกระเจิงไทเทเนียมไดออกไซด์ ลงบนกระจกนำไฟฟ้า ไม่ควรทิ้งไว้ข้ามคืนเพราะจะทำให้สารตกตะกอนเป็นผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับขนาดของกล่องอะคริลิกให้มีความเหมาะสมกว่านี้
2. ควรมีตัวประสานในสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อให้อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ มีการยึดเกาะระหว่างอนุภาคดียิ่งขึ้น
3. ในการฉีดยาเคลือบชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ควรมีเงื่อนไขมากกว่านี้ เช่น ความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่แตกต่างกัน รวมไปถึงระยะห่างระหว่างหัวฉีดพ่นและแผ่นรองรับที่แตกต่างกัน
4. ความหนาของชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ของเซลล์มาตรฐานควรมีความหนาใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการวิจัย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

- กัณทิมา โพนโสว และคณะ . (2556). การประดิษฐ์เครื่องฉีดพ่นสำหรับการเคลือบชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง . โครงการวิจัยตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- กมลพรรณ ชุมพล. (2555). หลักการวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไวสีย้อมด้วยวิธีการทางแสง. Available June 2, 2015 from www.nimt.or.th/nimt/upload/linkfile./sys-eneews-922-212.pdf.
- จิราภรณ์ คำจันทร์. (2551). การพัฒนาสารเคลือบผิว $TiO_2/SnO_2/X$ ระดับนาโน, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จรัส บุญธรรมมา. (2555). การเลี้ยวเบนกับกฎของแบรกก์. Available July 10, 2016 from <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/bragg-law/bragg-law>
- ธรรมบุญ ศรีทะวงศ์. (2555). ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม. Available May 5, 2016 from <http://www.vcharkarn.com/varticle/27809>.
- พรชัย ชินสา. (2556). คู่มือการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์สถานะของแข็งระดับบัณฑิตศึกษา. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- ปณิตา ชินเวงกิจวานิชย์. (2554). การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อม. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์มหาบัณฑิตเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, มหาวิทยาลัย.
- ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. (2555). การหาค่าคงที่แลตทิซโดยใช้กฎของแบรกก์. Available July 9, 2016 from <http://www.rmutphysics.com/chayud/Virtualexperiment/bragg-law/bragg-law.htm>.
- มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. (2555, มกราคม - มิถุนายน). อิทธิพลของอุณหภูมิต่อขนาดผลึกและปริมาณเฟสของผงไททาเนียมไดออกไซด์จากกระบวนการโซล-เจล. วารสารวิชาการ, 5 (1), 48-49.
- วินิช พรมอรัญ, ทวีศักดิ์ สุดยอดสุข, สายันต์ แสงสุวรรณะ, ทินกร แก้วอินทร์. (2550, พฤษภาคม-สิงหาคม). วารสารวิชาการอุบลราชธานี, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 9 (2), 17.

บรรณานุกรม (ต่อ)

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, สถาบันเทคโนโลยี. ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์. (2555). Available February 25, 2015 from http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm.

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Bing H., Baoshun L. (2015). Dye-sensitized solar cells fabricated by the TiO₂ nanostructural materials synthesized by electrospray and hydrothermal post-treatment. *Applied Surface Science* 358.

Guan-Jun Yang. (2011). Influence of pore structure on ion diffusion property in porous TiO₂ coating and photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. *Surface & Coating Technology* 205.

Ji-Tae Hong, Republic of Korea. (2010). A nano-porous TiO₂ thin film coating method for dye sensitized solar cells (DSSCs) using electrostatic spraying with dye solution. *Journal of Electrostatics* 68.

Q.Q. Liu, China. (2012). Effect of RF and pulsed DC sputtered TiO₂ compact layer on the performance dye-sensitized solar cells. *Surface & Coatings Technology*

Yeji Lee. (2016). Comparison of the photovoltaic efficiency on DSSC for nanometer sized TiO₂ using a conventional sol-gel and solvothermal methods. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 16.

Yongshu Tian. (2011). Investigation of the fill factor of dye-sensitized solar cells base on ZnO nanowire arrays. *Applied Surface Science*.

Yongzhe Zhang. (2008). A simple method to prepare uniform-size nanoparticle TiO₂ electrodes for dye-sensitized solar cells. *Journal of Power Sources*.

Xue-Long He and Guan-Jun, China. (2014). Room temperature cold sprayed TiO₂ scattering layer for high performance and bending resistant plastic-based dye-sensitized solar cells. *Journal of Power Sources* 251.

- Simon Mathew, Aswani Yella, Peng Gao, Robin Humphry-Baker, Basile F. E. Curchod, Negar Ashari-Astani, Ivano Tavernelli, Ursula Rothlisberger, Md. Khaja Nazeeruddin และ Michael Gratzel, Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers, Available January 2, 2015 from NATURE CHEMISTRY | ADVANCE ONLINE PUBLICATION | www.nature.com/naturechemistry, DOI: 10.1038/NCHEM.1861.
- Mateja Hocevar, Ursa Opara Krasovec, Matevž Bokalič, Marko Topic, Welmoed Veurman, Henning Brandt และ Andreas Hinsch, (2013). Sol-gel based TiO₂ paste applied in screen-printed dye-sensitized solar cells and modules, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 19 1464–1469.
- Ke Fan, Min Liu, Tianyou Peng, Liang Ma และ Ke Dai,. (2010). Effects of paste components on the properties of screen-printed porous TiO₂ film for dye-sensitized solar cells, *Renewable Energy* 35 555–561.
- E.C. Muniz, M.S. Goés, J.J. Silva, J.A. Varela, E. Joanni, R. Parra และ P.R. Bueno, *Synthesis and characterization of mesoporous TiO₂ nanostructured films prepared by a modified sol-gel method for application in dye solar cells*, *Ceramics International* 37 (2011) 1017–1024.
- Ji-Tae Hong, Hyunwoong Seo, Dong-Gil Lee, Jin-Ju Jang, Tae-Pung An และ Hee-Je Kim, *A nano-porous TiO₂ thin film coating method for dye sensitized solar cells (DSSCs) using electrostatic spraying with dye solution*, *Journal of Electrostatics* 68 (2010) 205 – 211.
- Xue-Long He, Guan-Jun Yang, Chang-Jiu Li, Cheng-Xin Li และ Sheng-Qiang Fan,. (2014). *Room temperature cold sprayed TiO₂ scattering layer for high performance and bending resistant plastic-based dye-sensitized solar cells*, *Journal of Power Sources* 251 122 – 129.
- Bing Hua และ Baoshun Liub,. (2015). Dye-sensitized solar cells fabricated by the TiO₂ nanostructural materials synthesized by electrospray and hydrothermal post-treatment, *Applied Surface Science* 358 412 – 417.

Slamet Widodo, Goib Wirantoa และ Mirza Nur Hidayat,. (2014). Fabrication of dye sensitized solar cells with spray coated carbon nano tube (CNT) based counter electrodes, *2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application*, ICSEEA.

Shuqing Huang, Huicheng Sun, Xiaoming Huang, Quanxin Zhang, Dongmei Li, Yanhong Luo และ Qingbo Meng, *Carbon nanotube counter electrode for high-efficient fibrous dye-sensitized solar cells*, Huang et al. *Nanoscale Research Letters* 2012, 7:222, Available March 15, 2016 from <http://www.nanoscalereslett.com/content/7/1/222>.

Gyeongho Kang, Jongmin Choi และ Taiho Park, *Pt-Free Counter Electrodes with Carbon Black and 3D Network Epoxy Polymer Composites*, *Scientific Reports* | 6:22987 | DOI: 10.1038/srep22987, Available April 10, 2016 from www.nature.com/scientificreports.



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก ก
ภาพประกอบงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องเคลือบชั้นโทเทเนียมไดออกไซด์ และการเคลือบชั้นโทเทเนียมไดออกไซด์ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง แสดงได้ดังรูปที่ ก. 1 – ก. 14



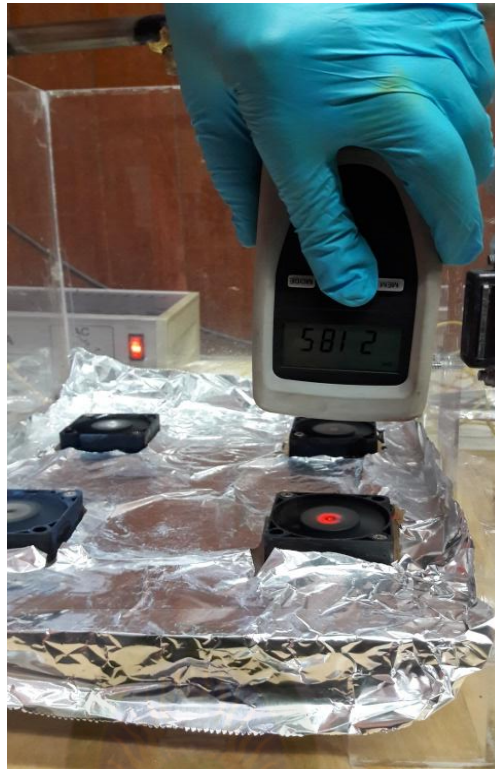
รูปที่ ก. 1 แสดงโครงสร้างของเครื่อง



รูปที่ ก. 2 แสดงการติดตั้งพัดลมจับแผ่นรองรับอุปกรณ์



รูปที่ ก. 3 แสดงการติดตั้งสวิตช์เปิดปิดพัดลม



รูปที่ ก. 4 แสดงการวัดความเร็วรอบ



รูปที่ ก. 5 แสดงหัวฉีดพ่นสารละลาย



รูปที่ ก. 6 แสดงกระบอกใส่สารละลาย



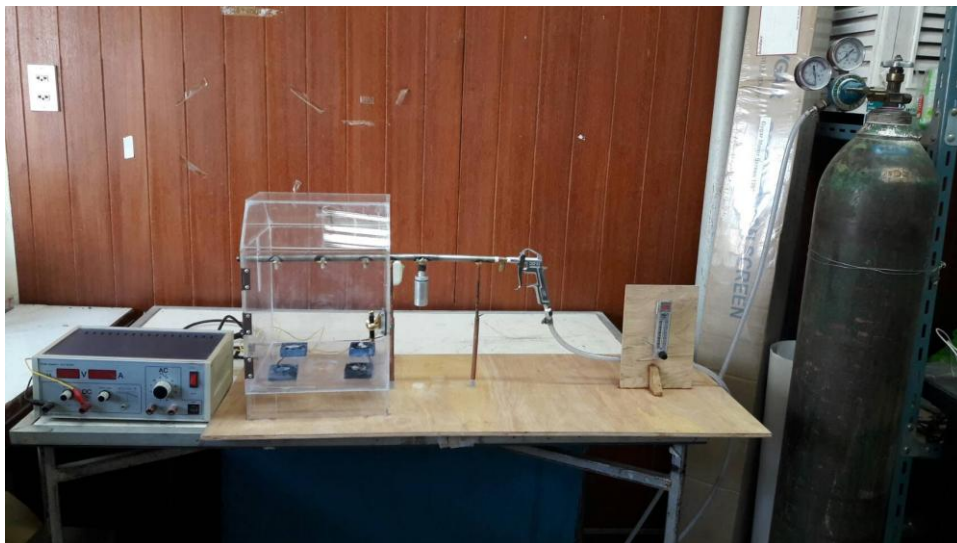
รูปที่ ก. 7 แสดงปืนลมเพื่อใช้กดปล่อยแรงดันแก๊ส



รูปที่ ก. 8 แสดงการเชื่อมต่อหัวฉีดพ่น กระบอกใส่สาร และปืนลมกดปล่อยแรงดัน



รูปที่ ก. 9 แสดงแสดงการติดตั้งตัวควบคุมอัตราการไหล (flow meter)



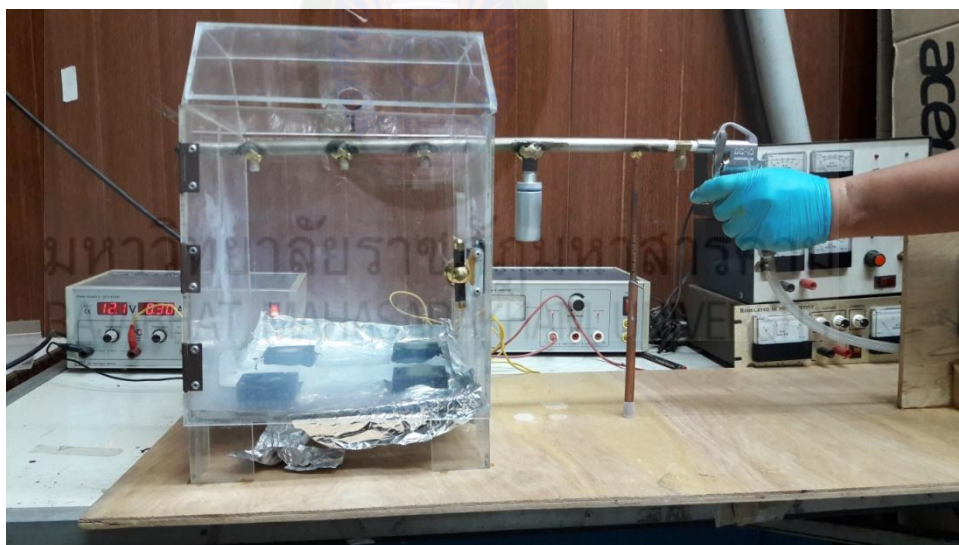
รูปที่ ก. 10 แสดงระบบเครื่องเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์



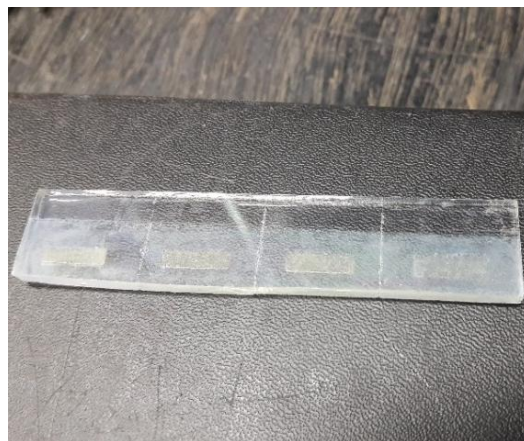
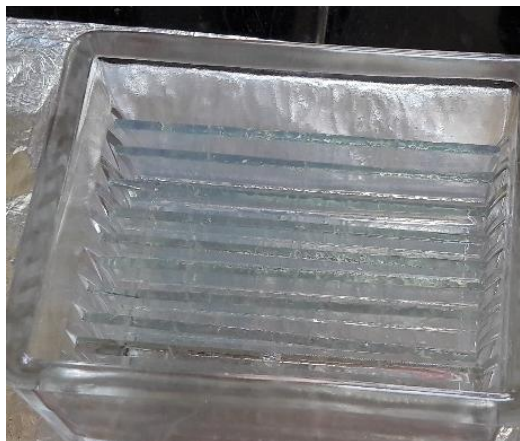
รูปที่ ก. 11 แสดงการตัดกระจกนำไฟฟ้าเพื่อเตรียมแผ่นรองรับ



รูปที่ ก. 12 แสดงการล้างกระจกนำไฟฟ้า



รูปที่ ก. 13 แสดงการพ่นเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์



(ก)

(ข)

รูปที่ ก. 14 แสดงผลก่อนการฟ้นเคลือบและหลังการฟ้นเคลือบตามลำดับ

(ก) กระจกนำไฟฟ้าที่ยังไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์

(ข) กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 10 ครั้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก ข
เครื่องวัดความเร็วรอบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. เครื่องวัดความเร็วรอบยี่ห้อ Testo 470

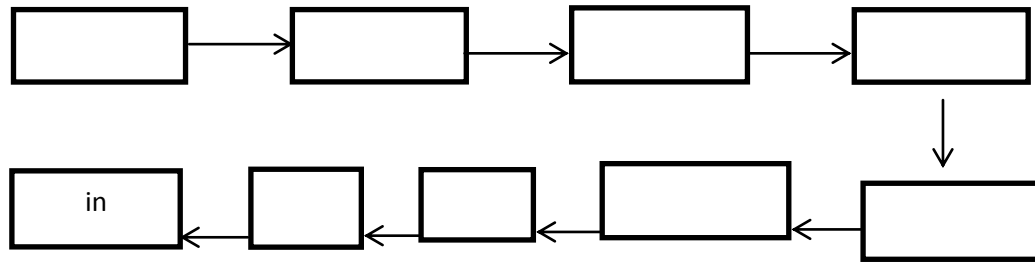
เครื่องวัดความเร็วรอบ ยี่ห้อ Testo 470 มีลักษณะ ดังรูปที่ ข. 1



รูปที่ ข. 1 เครื่องวัดความเร็วรอบ และหัววัดความเร็วรอบ

2. วิธีการใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ

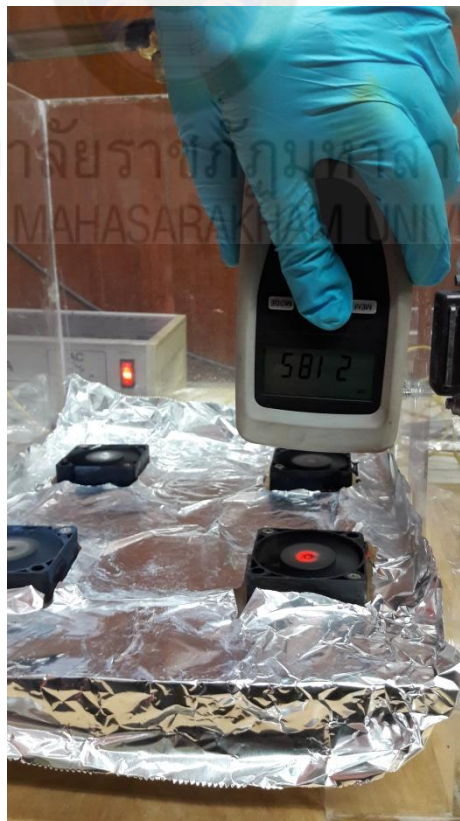
1. นำ alkaline battery หรือ rechargeable ประกอบด้วยเข้ากับเครื่องวัดความเร็วรอบ ซึ่งจะมีช่องใส่ถ่านด้านหลัง (ถ้าแบตเตอรี่อ่อนจะขึ้นคำว่า LOWBAT บนหน้าจอดิจิทัล ให้ทำการเปลี่ยนถ่านใหม่) และเมื่อหยุดใช้ควรถอดแบตเตอรี่ออกทุกครั้ง
2. เมื่อกดปุ่ม enter ค้างไว้จะเป็นการเปิดการทำงาน
3. กดปุ่ม MODE จะเข้าสู่การเลือกหน่วยการวัดความเร็วรอบแสดงได้ ดังรูปที่ ข. 2



รูปที่ ข. 2 แสดงการเปลี่ยนหน่วยวัดความเร็ว

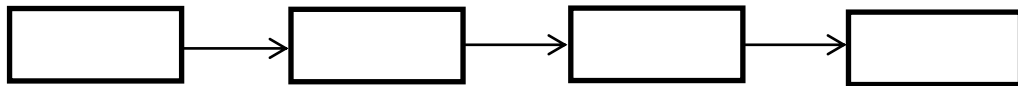
ทีมา (คู่มือการใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ, 2004)

4. ถ้าต้องการวัดความเร็วรอบด้วยแสงเลเซอร์ ให้เลือก MODE ไปที่ฟังก์ชัน rpm ซึ่งปรากฏบนหน้าจอดิจิทัล เมื่อกดปุ่ม enter ค้างไว้ และทำการวัดความเร็วรอบ ดังรูปที่ ข. 3 จะมีแสงเลเซอร์สีแดงส่องมากระทบกับแผ่นรองรับแสงที่ติดไว้กับสิ่งที่ต้องการวัดความเร็วรอบ ระยะห่างสูงสุดระหว่างเครื่องมือวัดและแผ่นรองรับคือ 24 นิ้ว หรือ 600 mm



รูปที่ ข. 3 แสดงการวัดความเร็วรอบด้วยแสงเลเซอร์

5. จากนั้นกดปุ่ม MEM เพื่ออ่านค่าความเร็วรอบจากหน้าจอดิจิทัล โดยจะอ่านได้ 4 ค่า คือ ค่าสุดท้าย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย **ดังรูปที่ ข. 4** ค่าความเร็วรอบที่ได้จะเป็นค่าคำนวณจากเครื่องมือหรือเฉลี่ยจากเครื่องมือโดยอัตโนมัติ



รูปที่ ข. 4 แสดงการอ่านค่าความเร็วรอบ

6. เมื่อต้องการวัดความเร็วรอบด้วยหัววัด จะต้องปรับโหมดไปที่ rpm โดยฟังก์ชันนี้มีไว้สำหรับใช้กับหัววัด ซึ่งการเลือกหัววัดจะขึ้นอยู่กับสภาพของสิ่งที่ต้องการวัด ว่าเหมาะสมที่จะใช้กับหัววัดชนิดใด

7. ซึ่งถ้าต้องการวัดด้วยฟังก์ชันอื่นๆ ก็เพียงเปลี่ยนหน่วยการวัดและเลือกหัววัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด

8. เครื่องมือวัดความเร็วรอบจะดับเองหรือหยุดทำงานทุก 30 วินาที เมื่อไม่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งข้อมูลครั้งสุดท้ายที่ทำการทดลองจะถูกบันทึกไว้ในเครื่องมือ แม้ว่าหน้าจอดิจิทัลของเครื่องจะดับก็ตาม

9. เมื่อหยุดใช้งาน ต้องถอดแบตเตอรี่ออกจากเครื่องทุกครั้ง



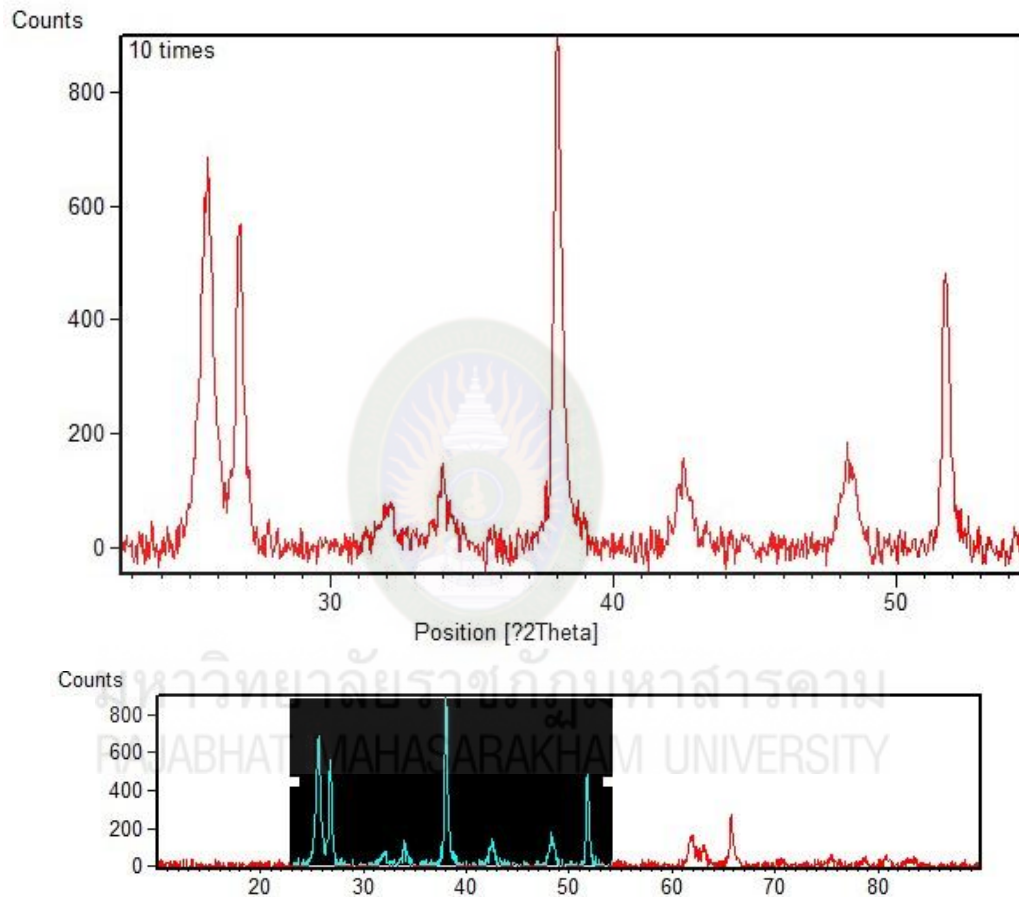
ภาคผนวก ค

แสดงการคำนวณขนาดของอนุภาค

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. คำนวณหาขนาดของอนุภาคโดยใช้สมการเชียร์เรอร์ (Scherrer)

$$B = \frac{0.9 \cdot \lambda}{FWHM \cdot \cos \theta} \text{ เมื่อ } B \text{ คือขนาดของอนุภาค (nm)}$$



รูปที่ ค.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้าของเซลล์ที่ทำกราดพื้นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง

หาค่า $FWHM = 0.41 = 2\theta$

$$\theta = 0.20^\circ$$

เปลี่ยนเป็นหน่วยเรเดียน $\therefore FWHM = \frac{0.25\pi}{180} = 1.11 \times 10^{-3} \pi$

$$2\theta = 25.62^\circ$$

$$\therefore \theta = 12.81^\circ$$

$$\text{เปลี่ยนเป็นเรเดียนดังนี้} = \frac{12.81\pi}{180} = 0.071\pi$$

$$\cos 0.071\pi = 0.999$$

$$\lambda = 1.54 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\text{แทนค่าลงในสมการ } B = \frac{0.9 \times 1.54 \times 10^{-10}}{1.11 \times 10^{-3} \times 0.999}$$

$$B = \frac{1.386 \times 10^{-10}}{1.109 \times 10^{-3}}$$

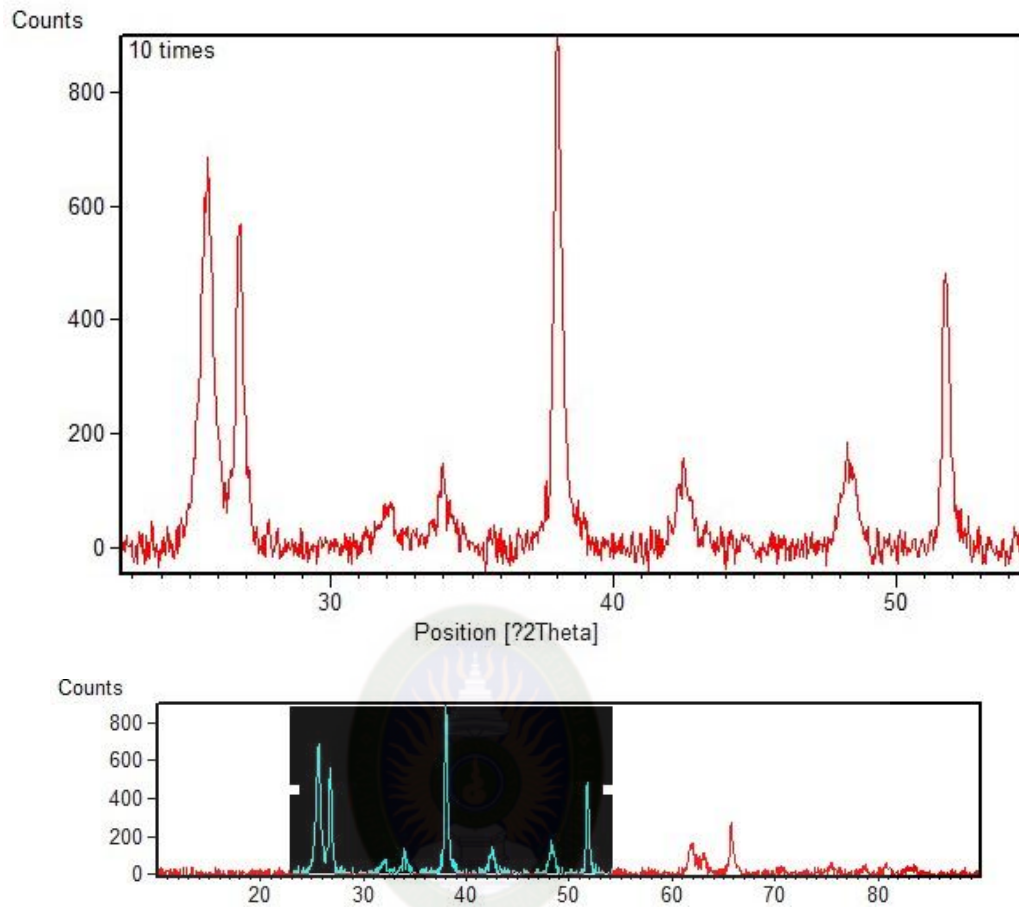
$$B = 1.249 \times 10^{-7}$$

$$B = 0.124 \times 10^{-6}$$

$$B = 124 \text{ nm}$$

2. แสดงการคำนวณหาระนาบของพีคไทเทเนียมไดออกไซด์

พีคที่ได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้าสามารถนำมาหาระนาบ ได้ดังนี้



รูปที่ ค. 2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้าของเซลล์ที่ทำกรณีสีดพื้นชั้นกระจกเงาแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง

เลือกมุม 2θ จากกราฟ XRD

หาค่า d_{hkl} และ f

เมื่อ $\theta = 12.81^\circ$

$\lambda = 1.54 \times 10^{-10}$

$$2d_{hkl} \sin \theta = \lambda$$

$$d_{hkl} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$= \frac{1.54 \times 10^{-10}}{2 \sin(12.81)}$$

$$= \frac{1.54 \times 10^{-10}}{2(0.2217)}$$

$$= \frac{1.54 \times 10^{-10}}{0.443}$$

$$\therefore d_{hkl} = 3.476 \text{ \AA}$$

$$= 0.347 \times 10^{-9}$$

หาค่า f จาก $2d_{hkl} \sin \theta = \lambda$ เมื่อ F คือ แฟคเตอร์โครงสร้าง

$$\frac{\sin \theta}{\lambda} = \frac{1}{2d_{hkl}}$$

$$= \frac{1}{2}(0.347)$$

$$\therefore \frac{\sin \theta}{\lambda} = 0.173$$

โดยการคำนวณจากตาราง Atomic Scattering Factor f_0 (พรชัย ชินสา, 2559)

เมื่อ

$$0.1 \rightarrow 17.0$$

$$0.2 \rightarrow 14.4$$

ดังนั้น

$$0.1 \rightarrow -2.6$$

และ

$$0.073 = x$$

$$0.1x = (-2.6) \times 0.073$$

$$0.1x = \frac{-0.1898}{0.1}$$

$$x = -1.898$$

ได้

$$\therefore 17.0 + (-1.898) = 15.102$$

$$\therefore f = 15.102$$

จาก

$$F = 2f$$

$$= 2(15.102)$$

$$\therefore F = 30.204$$

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกแบบ tetragonal ชนิด bcc จากเซลล์หน่วยแบบ bcc ประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน 2 อะตอมที่ตำแหน่ง 000 และ $\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$ สามารถเขียนแฟคเตอร์โครงสร้างได้เป็น

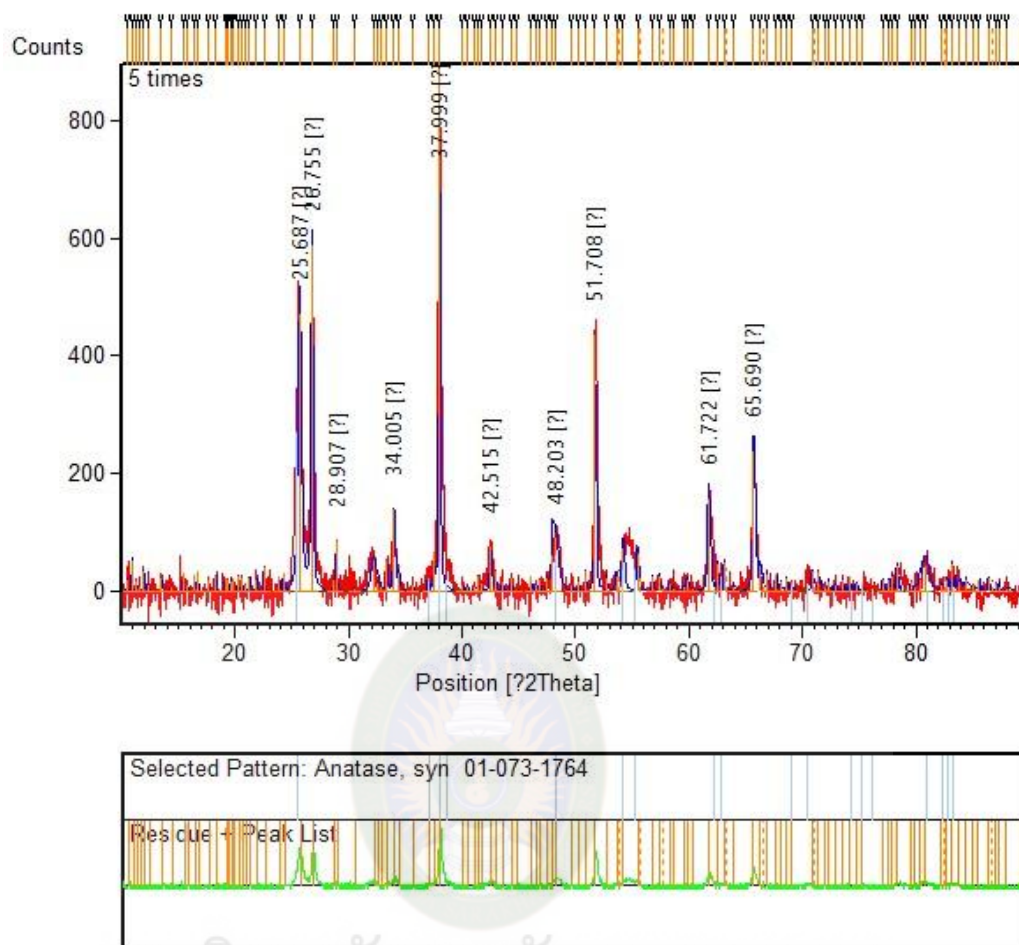
$$F = fe^{2\pi(0)} + fe^{2\pi(\frac{h}{2} + \frac{h}{2})} = f(1 + e^{\pi(hkl)}) \dots\dots\dots (ก. 1)$$

จากสมการ (ก. 1) สามารถวิเคราะห์หาได้ว่า

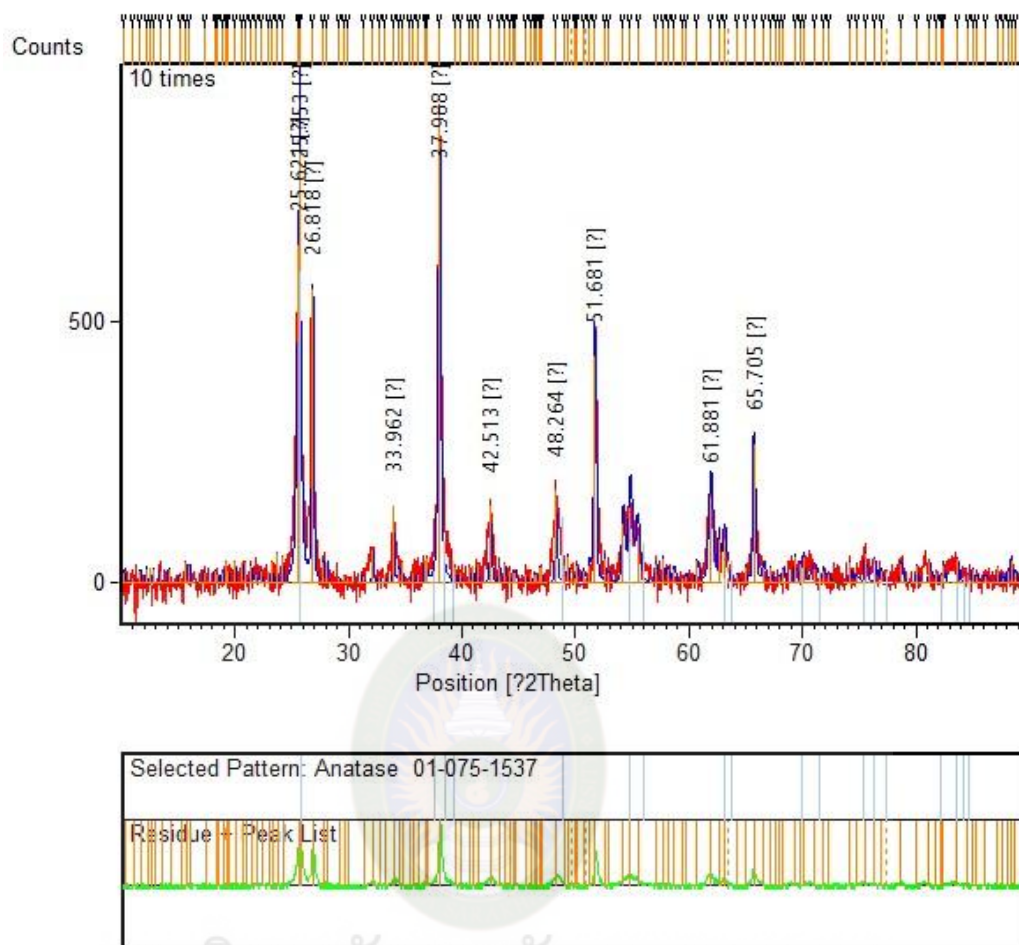
$$F = 2f \text{ หรือ } F^2 = 4f^2 \text{ ถ้า } h+k+l \text{ เป็นเลขคู่}$$

ดังนั้นสำหรับระนาบ (hkl) ที่ให้ค่าผลรวมของเลขดัชนีมิลเลอร์ ถ้า $h+k+l$ เป็นเลขคู่ จะเป็นระนาบที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ได้ระนาบเหล่านี้ได้แก่ (110) (101) (200) (211) เป็นต้น (พรชัย ชินสา, 2559)

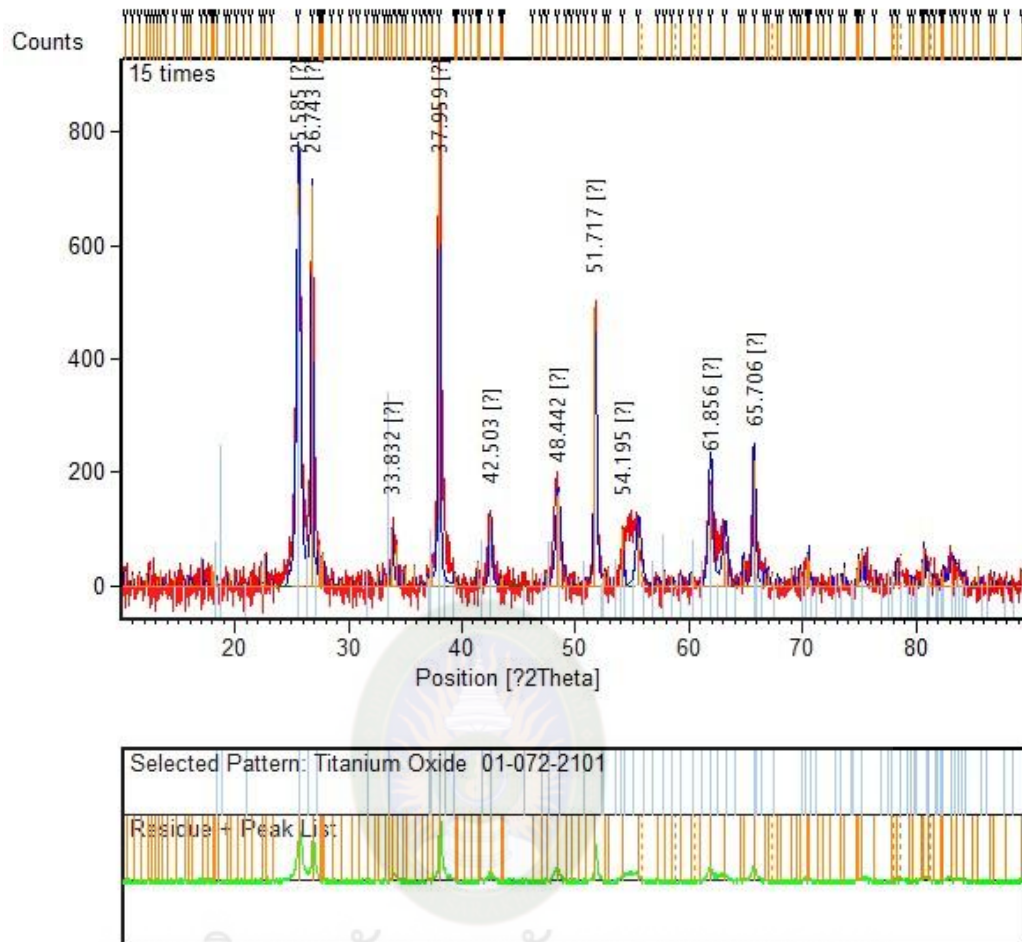
ดังนั้น จากการคำนวณสามารถบอกได้ว่า ระนาบที่ได้จากกราฟ XRD คือ ระนาบ (101) ซึ่งให้ค่าผลรวมของเลขดัชนีมิลเลอร์ ถ้า $h+k+l$ เป็นเลขคู่



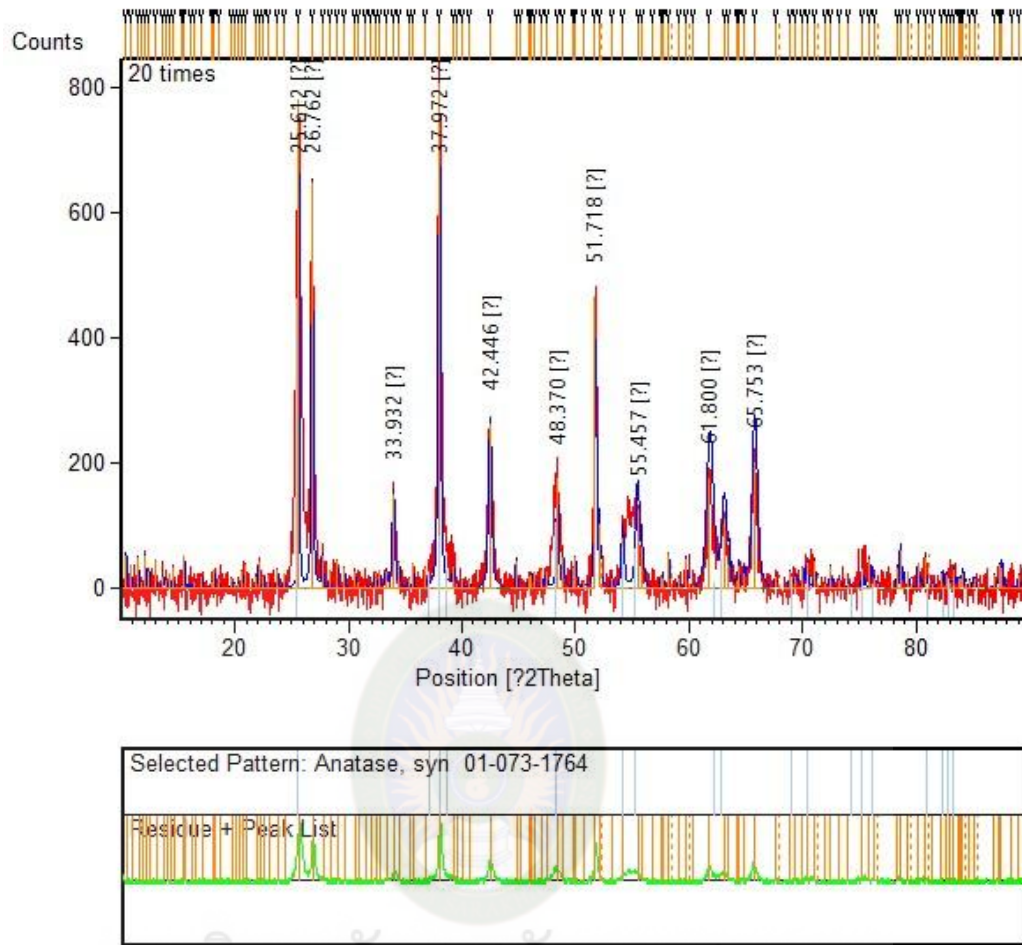
รูปที่ ค.3 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดยาน 5 ครั้ง



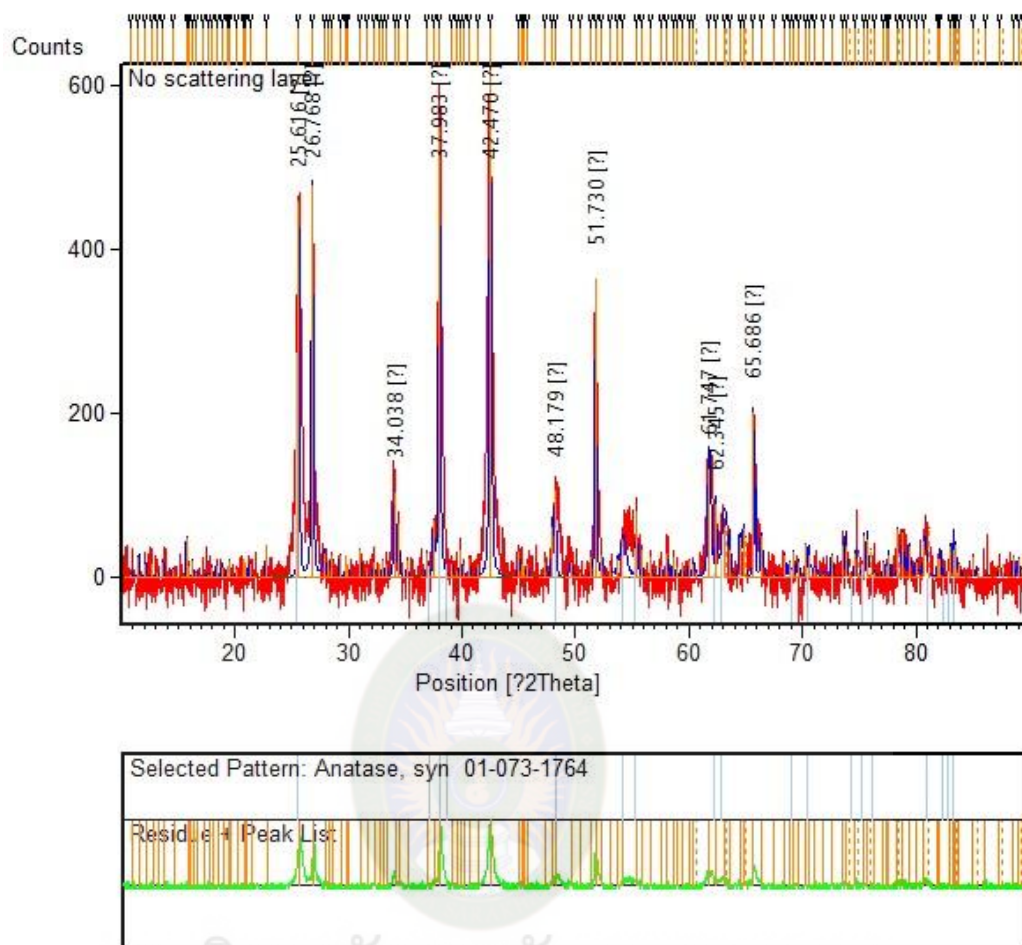
รูปที่ ค.4 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉัดพื้น 10 ครั้ง



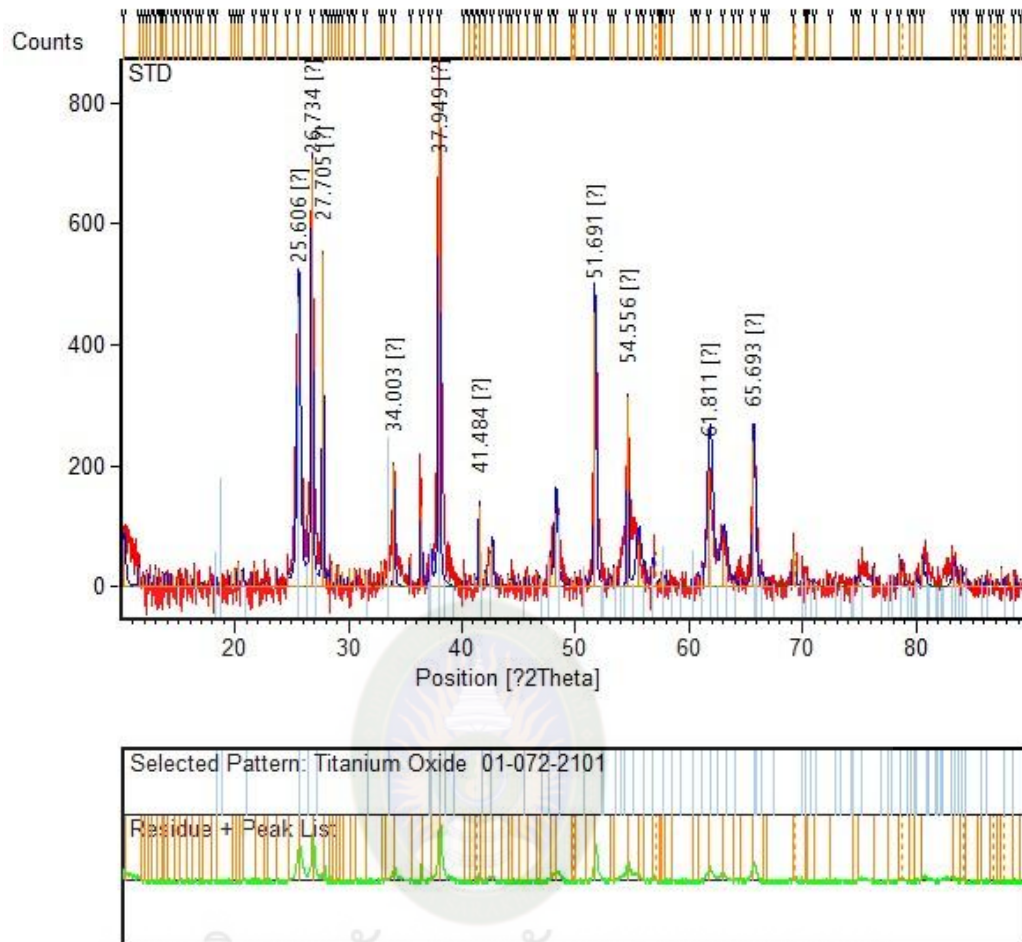
รูปที่ ค.5 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉัดพื้น 15 ครั้ง



รูปที่ ค. 6 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดย่น 20 ครั้ง



รูปที่ ค. 7 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ไม่มีชั้นกระจิงแสง



รูปที่ ค. 8 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ของเซลล์มาตรฐาน

2.1 การอ้างอิงรูปแบบข้อมูลมาตรฐานของเซลล์มาตรฐาน (Reference Pattern 01-075-1537)

Name and formula

Reference code:	01-075-1537
Mineral name:	Anatase
ICSD name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O ₂ Ti
Chemical formula:	TiO ₂

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	I41/amd
Space group number:	141

a (?):	3.7300
b (?):	3.7300
c (?):	9.3700
Alpha (?):	90.0000
Beta (?):	90.0000
Gamma (?):	90.0000

Calculated density (g/cm ³):	4.07
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	130.36
Z:	4.00
RIR:	5.20

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Alloy, metal or intermetallic
 Corrosion
 Pharmaceutical
 ICSD Pattern

Quality: Calculated (C)

Comments

ICSD collection code: 031064
 Test from ICSD: No R value given.
 At least one TF missing.

References

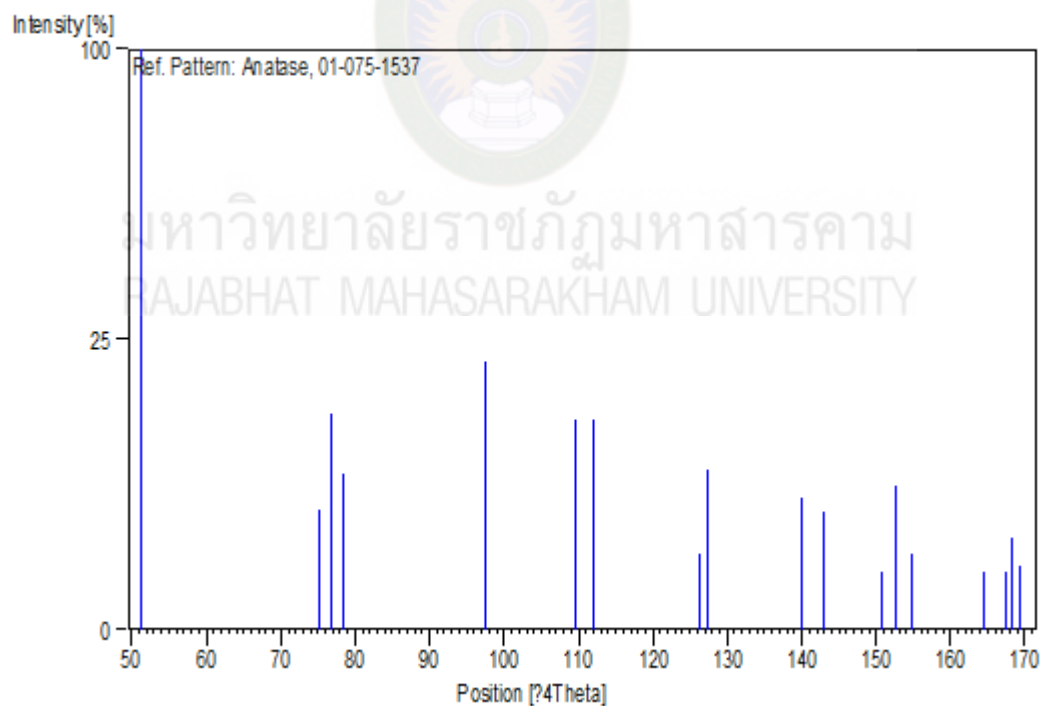
Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)
 Structure: Parker, R.L., *Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem.*, **59**, 1, (1924)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	3.46551	25.686	100.0
2	1	0	3	2.39467	37.528	4.2
3	0	0	4	2.34250	38.396	13.8
4	1	1	2	2.29833	39.164	7.3
5	2	0	0	1.86500	48.791	21.4
6	1	0	5	1.67454	54.775	13.2
7	2	1	1	1.64228	55.944	13.2
8	2	1	3	1.47140	63.137	1.7
9	2	0	4	1.45905	63.734	7.6
10	1	1	6	1.34378	69.952	5.1

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
11	2	2	0	1.31875	71.481	4.1
12	1	0	7	1.25990	75.381	0.5
13	2	1	5	1.24599	76.373	6.2
14	3	0	1	1.23253	77.361	1.7
15	0	0	8	1.17125	82.245	0.2
16	3	0	3	1.15517	83.645	0.3
17	2	2	4	1.14916	84.183	2.5
18	3	1	2	1.14383	84.666	1.2

Stick Pattern



ประวัติผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการ

1.1 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายธนชัย พลเคน
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Tanachai Ponken

1.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 3401 9001 3824 8

1.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

เงินเดือน 32,880 บาท

เวลาที่ใช้ทำวิจัย 20 ชั่วโมง : สัปดาห์

1.4 หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เลขที่ 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000

โทรศัพท์ 084-9302455, 094-2593210

E-mail : tanachaiponken@gmail.com

1.5 ประวัติการศึกษา

- ปริญญาโท วท.ม. ฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปริญญาตรี วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- พลังงานทดแทนในรูปเซลล์แสงอาทิตย์ ออกแบบ สร้างวิเคราะห์ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ วิเคราะห์สมบัติของวัสดุประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ เชิงกายภาพ เชิงไฟฟ้า เชิงแสง ระดับขั้นสูงได้ และสมบัติบางประการของวัสดุนาโนเทคโนโลยี

1.7 งานวิจัย

1. Spray Coating of TiO₂ Layer for Dye-sensitized Solar Cells (DSSCs)

การเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์รูพรุนสูงเพื่อประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไวสีอ้อมธรรมชาติ

2. Study and Fabrication of Intermediate Band Solar Cell (IBSC) by Asymmetric Bipolar DC-magnetron Sputtering Technique

การศึกษาและประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแถบพลังงานแทรกกลางด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงแบบขั้วไม่สมมาตร

3. โครงการวิจัยสำเร็จแล้ว เรื่อง Process performance on quality of herbal organic instant rice ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพข้าวอินทรีย์สมุนไพรแบบกึ่งสำเร็จรูป แหล่งทุนสนับสนุนวิจัยจาก วช. 2556

4. โครงการที่กำลังดำเนินการวิจัย การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากสารสีแดงในวัสดุธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสารดูดกลืนแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Fabrication of Dye-sensitized Solar Cell from Red Substance in Natural Materials to Used Absorber in Dye-sensitized Solar Cell) แหล่งทุนสนับสนุนวิจัยจาก วช. 2561

บทความวิจัย/บทความทางวิชาการ

1. Tanachai Ponken & Wijit Choawunklang (2017). "Preparation of Platinum (Pt) Counter Electrode Coated by Electrochemical Technique at High Temperature for Dyesensitized Solar Cell (DSSC) Application". IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 901 (2017) 012084.
2. Chaowanklang W. & Ponken T., (2016). "Synthesis of Natural Dye Sensitizer Local for Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) Application". Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University, Special Issue, October 2016. p. 12 – 17.
3. Chaowanklang W. & Ponken T., (2016). "Synthesis of Natural Dye Sensitizer Local for Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) Application". Siam Physics Congress 11th, 8-10 June 2016, Ubon Ratchathani University.
4. Ponken T. & Burinprakhon T., (2016). "Electrical Property of Titanium Doped Gallium Phosphide Thin Film Deposited by Asymmetric Bipolar Pulsed-DC Magnetron Sputtering for Intermediate Band Solar Cell (IBSC)", **Siam Physics Congress 11th**, 8-10 June 2016, Ubon Ratchathani University.
5. Ponken T., Simmamee N., & Chaowanklang W., (2015) "Preparation of Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) Template for Coated Platinum (Pt) Layer Counter Electrode by Electrochemical Method for Dye-sensitized Solar Cell Application". International Conference Science and Technology (TICST), **4-6 November 2015, INSPEC Accession Number: 15687245, p. 528 – 532. Publisher: IEEE online.**

6. Chinnasa P. & Ponken T., (2015) Preparation of Reactor Generation Clean Energy from Waste, **The 5th International Conference on Sciences and Social Sciences (ICSSS) 2015**, 17-18 September 2015, Rajabhat Maha Sarakham University.
7. Ponken T., & Burinprakhon T. (2015) “Electrical Resistivity of Ti-Ga-P Thin Films Synthesized by Asymmetric Bipolar Pulsed-DC Magnetron Sputtering” **The 10th Siam Physics Congress**, 20-22 May (2015), Greenery Resort, Nakhorn Ratchasima , Thailand.
8. Ponken T. & Burinprakhon T. (2014). “Optical Properties of Ti-doped GaP Thin Films Synthesized by Asymmetric Bipolar Pulsed-DC Magnetron Sputtering”. **The 9th Siam Physics Congress**, Greenery Resort, Nakhorn Ratchasima , Thailand,
9. Ponken T., Chityuttakan C. & Chattraphorn S., (2009). “Spray Coating of TiO₂ for Dye-sensitized Solar Cells”, **The 12th National Graduate Research Conference, Thailand**, February 12 – 13, 2009, Khon Kean University.
10. Ponken T., Chityuttakan C. & Chattraphorn S., (2008). “Spray Coating of TiO₂ Layer for Dye-sensitized Solar Cells”, **34th Congress on Science and Technology of Thailand**, November 31 – December 1 2008, Queen Sirikit National Convention Center, Thailand.

2. ผู้ร่วมวิจัย

2.1 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายอภิสิทธิ์ เกรียรติเจริญ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Apisit Keacharoen

2.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน 334160112984 1

2.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

เงินเดือน 21,000 บาท

เวลาที่ใช้ทำงานวิจัย 16 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

2.4 หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
เลขที่ 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์
44000

โทรศัพท์ 087-0659622

E-mail : chinnasa@hotmail.com

2.5 ประวัติการศึกษา

- ปริญญาโท วท.ม. เทคโนโลยีเชื้อเพลิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปริญญาตรี วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- พลังงานทดแทน พลังงานไฮโดรเจน และเซลล์เชื้อเพลิง

2.7 งานวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- Preparation of metal coated carbon composite bipolar plate ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง

บทความวิจัย/บทความทางวิชาการ

P. Chinnasa, K. Pruksathorn and S. Woramongkolchai., “Preparation of metal coated carbon composite bipolar plate”, The 12th National Graduate Research Conference, Khon Kean University, Thailand, February 12 – 13, (2009)

งานวิจัยที่กำลังทำ : การเตรียมอุปกรณ์ผลิตพลังงานสะอาดจากขยะอะลูมิเนียม แหล่งทุน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละ 80



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การประดิษฐ์เครื่องฉีดพ่นสารผงอนุภาคระดับนาโนภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอซึ่ง
ทดสอบโดยใช้สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าเวิร์กิ้ง
สำหรับการประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

Fabrication of Nano-Powder Spray Coating Machine under Uniform
Electric Field with Using the Titanium Dioxide (TiO₂) Colloidal
Solution as the Working Electrode for Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ธนชัย พลเคน

อภิสิทธิ์ เกรียติเจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การประดิษฐ์เครื่องฉีดพ่นสารพองอนุภาคระดับนาโนภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอซึ่งทดสอบโดยใช้สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าเว็คริ่งสำหรับการประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือจาก นายสรวิชัย คงแสนคำ และนางสาวสุรีภรณ์ ปัญญา นักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สำหรับช่วยดำเนินงานวิจัย และ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยตลอดจนคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในงานทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมักร พิमानแพง อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาเอื้อเฟื้อวัสดุ สารเคมี สำหรับวิจัยบางส่วน และนางสาวพรพนารัตน์ อัจจงทอง นักศึกษาปริญญาโท สาขาวัสดุศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับช่วยให้ความรู้รวมถึงช่วยสอนวิธีการดำเนินงานวิจัย รวมถึง เจ้าหน้าที่ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการใช้เครื่องมือ การวิเคราะห์ผลวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ (บกศ.) ประจำปีงบประมาณ 2560 สุดท้ายนี้ขอกราบระลึกถึงคุณบิดามารดาที่ให้การเลี้ยงดูคอยอบรมสั่งสอนทั้งคอยให้กำลังใจตลอดมา โดยตลอด จนกระทั่งการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

2561

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย	การประดิษฐ์เครื่องฉีดพ่นสารผงอนุภาคระดับนาโนภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ซึ่งทดสอบโดยใช้สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าเวอริกซ์กึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
ผู้ดำเนินการวิจัย	นายธนชัย พลเคน และ อภิสิตี เกียรติเจริญ
หน่วยงาน	กลุ่มวิจัย Renewable Energy and Nano-materials Research (RENRE) / ฟิสิกส์ / คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ.	2561

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการประดิษฐ์เครื่องฉีดพ่นสารผงอนุภาคระดับนาโนภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ซึ่งทดสอบโดยใช้สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วไฟฟ้าเวอริกซ์กึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เครื่องฉีดพ่นสำหรับการเคลือบชั้นกระจังแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ประกอบด้วยกล่องอะคริลิกใส ขนาดความกว้าง 25 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร และความสูง 25 เซนติเมตร ระบบควบคุมการไหลของแก๊สออกซิเจนหัวฉีดพ่น และที่ยึดแผ่นรองรับซึ่งควบคุมความเร็วรอบในการหมุนด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกเตรียมโดยการกวนด้วยแม่เหล็กที่ความเข้มข้น 0.75 เปอร์เซ็นต์ ชั้นกระจังแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกเคลือบโดยเครื่องฉีดพ่นภายใต้แก๊สออกซิเจน เงื่อนไขในการเคลือบชั้นกระจังแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบในการฉีดพ่นที่ 5, 10, 15 และ 20 ครั้ง ภายใต้การหมุนของแผ่นรองรับบนชั้นเวอริกซ์กึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ ชั้นเวอริกซ์กึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชั้นเวอริกซ์กึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการเผาไปแช่ในสารสีย้อมไวแสง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั้นเวอริกซ์กึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการแช่สารสีย้อมไวแสง ถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และเครื่องมือวิเคราะห์การส่องผ่านของแสง เพื่อศึกษาสมบัติเชิงสัญญาณเชิงโครงสร้าง และเชิงแสง ตามลำดับ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ถูกประดิษฐ์ด้วยการประกอบชั้นเวอริกซ์กึ่งไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีสารสีย้อมไวแสงแทรกอยู่ในรูพรุนไทเทเนียมไดออกไซด์กับขั้วไฟฟ้าแคโทด เปรียบเทียบเซลล์ที่มีชั้นกระจังแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ไม่มีชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ และเซลล์มาตรฐานวัดประสิทธิภาพเซลล์ถูกวัดโดยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐาน

ผลจากการวิจัยพบว่า ได้เครื่องฉีดพ่นสำหรับการเคลือบชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ ลักษณะโครงสร้างของชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้ามีลักษณะความเป็นผลึก พบ ระบาย (101) โทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นเฟสออร์ทอโรโมนีและพบเฟสรูไทต์โทเทเนียมไดออกไซด์ของชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์มาตรฐาน ลักษณะพื้นผิวของชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์มีการกระจายสม่ำเสมอสำหรับการฉีดพ่นตั้งแต่ 15 ครั้งขึ้นไป มีขนาดอนุภาคโทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กระดับนาโนถึงระดับไมโคร ความหนาของชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์, ชั้นเวิร์คกิ้ง โทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าประมาณ 1 – 1.5 ไมโครเมตรและ 10 – 20 ไมโครเมตร ตามลำดับ การส่องผ่านแสงของชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์คือต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ การสะท้อนของแสงมีค่าต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และการดูดกลืนแสงสามารถดูดกลืนได้เพียง 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแสงทะลุผ่านได้ดี สะท้อนแสงได้ดี และดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงแสงขาว มีการกระเจิงแสงภายในชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ได้ดี ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สามารถได้รับค่าสูงสุด ซึ่งประกอบด้วยค่า $V_{oc} = 0.77$ โวลต์ $J_{sc} = 14.57$ มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ค่าฟิวกเตอร์ (FF) = 0.65 และค่าประสิทธิภาพ (η) = 7.33 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเงื่อนไขของการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง ดังนั้น การมีชั้นกระเจิงแสงโทเทเนียมไดออกไซด์มีส่วนสนับสนุนให้เกิดการกระเจิงแสงภายในเซลล์มากขึ้น ส่งผลให้พลังงานแสงถูกดูดกลืนได้เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเซลล์สูงขึ้น จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

Research Title	Fabrication of Nano-Powder Spray Coating Machine under Uniform Electric Field with Using the Titanium Dioxide (TiO ₂) Colloidal Solution as the Working Electrode for Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)
Researcher	Tanachai Ponken and Apisit Keacharoen
Organization	Renewable Energy and Nano-materials Reserach (RENR)/ Physics / Science and Technology Rajabhat Maha Sarakham University
Year	2017

ABSTRACT

The research is Fabrication of Nano-Powder Spray Coating Machine under Uniform Electric Field with Using the Titanium Dioxide (TiO₂) Colloidal Solution as the Working Electrode for Dye-sensitized Solar Cell (DSSC). The spray coating machine TiO₂ scattering layer consists of acyclic box which width, length and high of 2.5, 30 and 25 cm, respectively, flow rate control system of O₂ gas, nozzle gun and substrate holder that rotation control with DC power supply. The TiO₂ colloidal solution was prepared by magnetic stirrer at concentration of 0.75%. The TiO₂ scattering layer was injected by spray coating machine under O₂ gas. The condition of TiO₂ scattering layer was varied with pulse spray at 5, 10, 15 and 20 times under substrate holder rotation on the TiO₂ working electrode substrate. Then, the TiO₂ working electrodes were sintered at 500°C for 1 hr. Then, the TiO₂ working electrodes were immersed in dye sensitizer. After that, the TiO₂ mixed dye sensitizer working electrodes were analyzed by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and UV-vis spectrophotometer as study to morphological, structural and optical properties, respectively. The DSSC cells were fabricated by the TiO₂ mixed dye sensitizer working electrodes sandwich with the Pt counter electrode. DSSC cells were compared with the TiO₂ scattering layer, non-TiO₂ scattering layer and standard cells. DSSC cells were measured by solar simulator (AM 1.5).

Results found that, we can be creating spray coating machine for TiO_2 scattering layer successfully. The structure characteristic of TiO_2 scattering layer on TiO_2 mixed dye sensitizer working electrode/FTO substrates exhibits crystalline of anatase phase TiO_2 plane (101) and found rutile phase of standard cell. Surface morphology characteristic of TiO_2 scattering layer on TiO_2 mixed dye sensitizer working electrode/FTO substrates shows uniform distribution since 15 times over. It can see nano-micro TiO_2 particles and thickness of TiO_2 scattering layer and TiO_2 mixed dye sensitizer working electrodes have approximately of 1 – 1.5 μm and 10 – 20 μm , respectively. Transmittances spectra of TiO_2 scattering layer on TiO_2 mixed dye sensitizer working electrode/FTO substrates have lower 50%. Reflections spectra have lower 50% and absorbance can be absorbed of 1 – 2% show that low transmittance, low reflection and low absorption in visible light which occur light scattering effect in TiO_2 scattering layer well. The efficiency of DSSC cells can be highest obtains which consists of the open circuit voltage (V_{oc}), the current density (J_{sc}), Fill Factor (FF) and efficiency of 0.77 V, 14.57 mA/cm^2 , 0.65 and 7.33%, respectively for the condition of TiO_2 scattering layer pulsed spray of 10 times. Thus, TiO_2 scattering layer supports to increases light scattering in cell and photon energy absorption lead to efficiency increases so that TiO_2 scattering layer suitable for development of DSSC.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
ขอบเขตการวิจัย.....	4
ข้อจำกัด.....	5
สมมติฐานการวิจัย.....	5
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ).....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
สมบัติของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂).....	7
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye – sensitized Solar Cells).....	8
การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	11
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM).....	14
เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD).....	16
การวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดผลึกผงจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	22
เครื่อง UV-vis spectrophotometer.....	23
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-vis spectrophotometer.....	24
เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไป.....	25
หลักการกระเจิงแสง.....	26

	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	31
	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	33
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	48
	ผลของการประดิษฐ์เครื่องเคลือบแบบฉีดยาไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	48
	ผลของขั้นตอนการเตรียมชั้นกระจกแสงไทเทเนียมไดออกไซด์.....	49
	ผลของการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง เชิงสัณฐาน เชิงแสง และประสิทธิภาพ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากการเตรียมชั้นกระจกแสงอนุภาคนาโน ไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดยา.....	53
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	72
	สรุปผลการวิจัย.....	72
	วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม.....		74
	บรรณานุกรมภาษาไทย.....	74
	บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ.....	75
ภาคผนวก.....		78
	ภาคผนวก ก.....	79
	ภาคผนวก ข.....	88
	ภาคผนวก ค.....	92
ประวัติผู้วิจัย.....		107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	8
2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์แต่ละรูปแบบโครงสร้าง.....	8
2.3 การหาค่า α แสดงความสัมพันธ์ของอนุภาค (D) ที่ขนาด 0.1 ถึง 0.6 ไมโครเมตร กับความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 0.488 และ 0.6328 ไมโครเมตร.....	28
3.1 แสดงเงื่อนไขการเคลื่อนที่ของกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการฉีดพ่นที่อุณหภูมิห้อง...	41
4.1 แสดงค่าความแตกต่างของการเตรียมชั้นกระเจิงแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข.....	71



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของ TiO_2	7
2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	9
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แสงอาทิตย์กระทำกับเส้นตั้งฉากที่ผิวโลกกับค่ามวลอากาศ	13
2.4 กราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ (I-V curve) ของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	14
2.6 โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	15
2.7 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	16
2.8 เครื่องตรวจวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)	17
2.9 แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ d	17
2.10 จุดกำเนิด (origin) ของแกน x, y, z	18
2.11 จุดตัดของระนาบแกน x, y, z	19
2.12 พิสูจน์กฎของแบรกก์.....	20
2.13 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากการวัดแผ่นฟิล์มบางด้วย XRD	21
2.14 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	23
2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าความยาวคลื่น (wavelength).....	24
2.16 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	25
2.17 Double beam spectrophotometer	26

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.18 ปราบปรามการกระเจิงแสงเมื่อตกกระทบบนอนุภาค	26
3.1 แสดงไดอะแกรมของเครื่องเคลือบแบบฉีดยาน้ำบนไทเทเนียมไดออกไซด์	33
3.2 แสดงการเตรียมกระจกนำไฟฟ้า (FTO).....	35
3.3 การบดวัสดุธรรมชาติ แสดงกระจกนำไฟฟ้าที่ติดเทปสำหรับมาร์คกิ้ง (Kapton tape) เพื่อใช้ในการทำเป็นขั้วไฟฟ้า.....	35
3.4 แสดงการเคลือบ blocking layer ด้วย TiO_2	36
3.5 แสดงการติดเทปสำหรับมาร์คกิ้ง (kapton tape) ออก.....	37
3.6 แสดงการใส่กระจกนำไฟฟ้าในช่องบล็อกสกรีน (block screen).....	37
3.7 แสดงการสกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์	38
3.8 แสดงตัวอย่างที่ทำการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสกรีน.....	38
3.9 แสดงการเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์	39
3.10 แสดงการฉีดยาน้ำบนกระจกไทเทเนียมไดออกไซด์	40
3.11 การเผาขั้วไฟฟ้าสารกึ่งตัวนำ TiO_2	40
3.12 แสดงตัวอย่างที่ทำการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสเปรย์	41
3.13 แสดงการเตรียมกระจกนำไฟฟ้า	42
3.14 แสดงกระจกนำไฟฟ้าที่ติดเทปสำหรับมาร์คกิ้งเพื่อใช้ในการทำเป็นขั้วไฟฟ้า	43
3.15 แสดงตัวอย่างก่อนเผาที่ทำการเคลือบแพลทินัม (Platinum, Pt) ด้วยเทคนิคสปิน.....	43
3.16 แสดงตัวอย่างหลังเผาที่ทำการเคลือบแพลทินัม (Platinum, Pt) ด้วยเทคนิคสปิน	44
3.17 แสดงการแช่ขั้วไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในสารละลาย Dye ชนิด N719	44

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.18 แสดงตัวอย่างหลังแช่ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในสารละลาย Dye ชนิด N719.....	45
3.19 แสดงขนาดของพาราฟิล์ม.....	45
3.20 แสดงการนำพาราฟิล์มไปวางบนขั้วเวิร์คกิ้ง.....	46
3.21 แสดงเซลล์ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	46
3.22 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	47
3.23 แสดงการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์.....	47
4.1 ระบบฉีดพ่นจากการพัฒนาเครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง.....	48
4.2 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการทำความสะอาด	49
4.3 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้น blocking layer TiO ₂ ด้วยเทคนิคสปิน.....	50
4.4 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคสกรีน	51
4.5 การเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับฉีดพ่นเพื่อทำชั้นกระจกเงา ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	52
4.6 กระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการเคลือบชั้นกระจกเงาไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการฉีดพ่น	52
4.7 ขั้วเหนียวดำแห้งในบิวทานอลผสมอะซิโตน ไตรล็กกราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของชั้นไทเทเนียม ไดออกไซด์บนแผ่นรองรับกระจกนำไฟฟ้า (FTO)	53
4.8 ขั้วเหนียวดำสดในบิวทานอลผสมอะซิโตน ไตรล็กลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับ ฉีดพ่นเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลัง ขยาย 10,000 เท่า.....	55
4.9 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดพ่นเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.10 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 5 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	56
4.11 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	57
4.12 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	57
4.13 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 10 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	58
4.14 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	59
4.15 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	60
4.16 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 15 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	60
4.17 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	61
4.18 ลักษณะภาคตัดขวางของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	62
4.19 ลักษณะภาคตัดขวาง (crosssection) ของแผ่นรองรับฉีดยานเคลือบที่ 20 ครั้ง วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	63
4.20 ลักษณะทางกายภาพของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	64
4.21 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์ที่ไม่มีชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.22 ลักษณะทางกายภาพของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	65
4.23 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	66
4.24 ลักษณะภาคตัดขวางของเซลล์มาตรฐานไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	66
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระจังแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข	67
4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระจังแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข	68
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระจังแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข ...	69
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และความหนาแน่นกระแส (J) ที่ได้จากการเตรียมชั้นกระจังแสงอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคฉีดพ่นในแต่ละเงื่อนไข.....	70
ก-1 แสดงโครงสร้างของเครื่อง.....	80
ก-2 แสดงการติดตั้งพัดลมจับแผ่นรองรับอุปกรณ์	81
ก-3 แสดงการติดตั้งสวิตช์เปิดปิดพัดลม	81
ก-4 แสดงการวัดความเร็วรอบ	82
ก-5 แสดงหัวฉีดพ่นสารละลาย.....	82
ก-6 แสดงกระบอกใส่สารละลาย.....	83
ก-7 แสดงปืนลมเพื่อใช้กดปล่อยแรงดันแก๊ส	83
ก-8 แสดงการเชื่อมหัวฉีดพ่น กระบอกใส่สาร และปืนลมกดปล่อยแรงดัน	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-9 แสดงแสดงการติดตั้งตัวควบคุมอัตราการไหล (flow meter)	84
ก-10 แสดงระบบเครื่องเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์	85
ก-11 แสดงการตัดกระแสจกนำไฟฟ้าเพื่อเตรียมแผ่นรองรับ	85
ก-12 แสดงการล้างกระแสจกนำไฟฟ้า.....	86
ก-13 แสดงการพ่นเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์.....	86
ก-14 แสดงผลก่อนการพ่นเคลือบและหลังการพ่นเคลือบตามลำดับ	
(ก) กระจกนำไฟฟ้าที่ยังไม่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์	
(ข) กระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 10 ครั้ง	87
ข-1 เครื่องวัดความเร็วรอบ และหัววัดความเร็วรอบ	89
ข-2 แสดงการเปลี่ยนหน่วยวัดความเร็ว	90
ข-3 แสดงการวัดความเร็วรอบด้วยแสงเลเซอร์	90
ข-4 แสดงการอ่านค่าความเร็วรอบ	91
ค-1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้า	
ของเซลล์ที่ทำการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง.....	93
ค-2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บนกระจกนำไฟฟ้า	
ของเซลล์ที่ทำการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 10 ครั้ง.....	95
ค-3 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 5 ครั้ง	98
ค-4 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 10 ครั้ง	99
ค-5 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 15 ครั้ง	100
ค-6 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ฉีดพ่น 20 ครั้ง	101

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ค-7 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ไม่มีชั้นกระจิงแสง	102
ค-8 แสดงกราฟการวิเคราะห์ระนาบของไทเทเนียมไดออกไซด์ของเซลล์มาตรฐาน	103



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันและอนาคตเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์มีบทบาทสำคัญในการเข้ามาแก้ปัญหาสถานะการขาดแคลนพลังงานของมนุษย์ทั่วโลก ซึ่งเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์นี้ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมหรือที่เราเรียกว่า “พลังงานสะอาด” เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆชนิดที่น่าสนใจสำหรับการแก้ปัญหาความมั่นคงทางพลังงาน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่สามารถนำพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดมาใช้ประโยชน์ได้ ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนี้ปัจจุบันสามารถเพิ่มขึ้นได้สูงถึง 13 เปอร์เซ็นต์ จากผลงานวิจัยของ Simon Mathew ซึ่งเป็นคณะที่มิวิจัยของ Michael Grätzel (2014) โดยลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนี้คือ 1) สามารถประดิษฐ์เซลล์ได้ง่ายมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน 2) วัสดุที่นำมาประดิษฐ์มีราคาต้นทุนไม่สูง 3) สามารถนำวัสดุจากธรรมชาติมาสกัดเป็นสารดูดกลืนแสงได้ 4) สามารถเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าได้ภายใต้บริเวณความเข้มแสงน้อยๆ 5) สามารถประดิษฐ์ให้มีพื้นที่เซลล์ขนาดใหญ่ได้โดยไม่ต้องอาศัยระบบสุญญากาศหรือเทคโนโลยีที่สูงเกินไป จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่ทำการวิจัยและพัฒนาส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้โดยมีวัตถุประสงค์เหมือนกันคือ การเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยส่วนประกอบหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงนี้คือ 1) ขั้วไฟฟ้าเวิร์กิ้ง (สารสีย้อมไวแสงจะแทรกอยู่ในชั้นรูพรุนของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนกระจกนำไฟฟ้าได้และโปร่งแสง) 2) ขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์ (ประกอบด้วยสารเร่งปฏิกิริยาเคลือบอยู่บนกระจกนำไฟฟ้าได้และโปร่งแสง) 3) สารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือสารของแข็งอิเล็กโทรไลต์หรือเจลอิเล็กโทรไลต์ ทั้ง 3 ส่วนประกอบหลักในแต่ละส่วนมีความต้องการสมบัติที่แตกต่างกันไป เพื่อจะทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้มีความสนใจในส่วนของชั้นรูพรุนไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งจะต้องมีสมบัติที่เหมาะสมกับเซลล์ดังนี้ ข้อที่ 1) ต้องการจำนวนรูพรุนระดับนาโนจำนวนมากเพื่อให้โมเลกุลของสารสีย้อมไวแสงไปเกาะติดบริเวณภายในรูพรุน ซึ่งถ้ามีโมเลกุลสารสีย้อมไวแสงอยู่จำนวนมากภายในเซลล์ จะทำให้โมเลกุลสารสีย้อมไวแสงดูดกลืนพลังงานแสงได้จำนวนมากส่งผลให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูง สมบัติที่เหมาะสมกับเซลล์ ข้อที่ 2) ต้องการความหนาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10 ถึง 15 ไมโครเมตร ในสมบัติข้อนี้มีการวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆเช่น วิธีการสกรีน -ปริ้น วิธีการพาดด้วยแท่งแก้ว วิธีการโซล -เจล และอีกหลากหลายวิธี (Mateja Hocevar, Ke Fan and

E.C. Muniz) ถึงแม้วิธีการเคลือบแบบต่างๆที่กล่าวมาจะเคลือบง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ก็ไม่สามารถควบคุมความหนาของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้แม่นยำ และสมบัติที่เหมาะสมกับเซลล์ ข้อที่ 3) ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถกระเจิงแสงได้ดีมาก ทำให้แสงกระจายอยู่ในเซลล์ได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้โมเลกุลสารสียอมไวแสงดูดกลืนพลังงานแสงได้จำนวนมากส่งผลให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูง ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดและการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อให้ได้สมบัติดังที่กล่าวมา จึงได้ออกแบบและประดิษฐ์เครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขึ้นขึ้นมา โดยจะมีลักษณะเด่นคือสามารถควบคุมความหนาของชั้นที่เคลือบได้แม่นยำจากอัตราการเคลือบที่แน่นอน ตัวควบคุมต่างๆ นอกจากนี้ยังนำเทคนิคแรงที่กระทำต่ออนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเข้ามาช่วยในการเคลือบอนุภาคระดับนาโนเมตรอีกด้วย โดยทิศทางของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงเนื่องจากสนามโน้มถ่วงของโลก ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ตกลงแผ่นรองรับด้วยความเร็วที่ช้ากว่าปกติและแรงตกกระทบที่น้อยกว่าการตกแบบอิสระ ทำให้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ตกลงแผ่นรองรับด้วยแรงกระแทกที่น้อย ก่อให้เกิดการเกาะกันของอนุภาคแบบหลวมๆ ไม่ติดแน่นซึ่งอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นลักษณะทรงกลม ดังนั้นจะเกิดรูพรุนขนาดนาโนเมตรและรูพรุนขนาดใหญ่ ไมโครเมตรเป็นจำนวนมากส่งผลให้ได้สมบัติที่ต้องการเพื่อใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง มีงานวิจัยสนับสนุนแนวคิดนี้อยู่จำนวนมากพอสมควร อาทิ งานวิจัยของ Ji-Tae Hong (2010) การสร้างเครื่องมือเคลือบแบบฉีดพ่นชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง เป็นระบบสเปร์ยไฟฟ้าสถิต (ESS) และทำการทดลองด้วยวิธีการเคลือบด้วยระบบ ESS ควบคุมการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบ (ESS) ตั้งแต่ 5 - 10 kV ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลือบแต่ละตัวอย่างคือ 2, 4, 6 และ 8 นาที อัตราการฉีดพ่นของหัวฉีดมีค่า 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างที่เคลือบด้วยกล้อง (CCD) นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเซลล์จะสามารถพิจารณาได้จากกราฟ I-V curve พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่ได้จากวิธีสเปร์ยไฟฟ้าสถิต คือ 3.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีสเปร์ยธรรมดา ซึ่งได้เพียง 3.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อมางานวิจัยของ Xue-Long He (2014) ได้ทำการศึกษาเคลือบชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีฉีดพ่นภายใต้อุณหภูมิต้องลงบนแผ่นรองรับที่โค้งงอได้ ซึ่งเขาทำการออกแบบและสร้างเครื่องฉีดพ่นเพื่อเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยแรงอัดจากแก๊สฮีเลียมโดยมีที่ยึดแผ่นรองรับด้านล่างสามารถปรับ - เลื่อนได้ แล้วนำไปประกอบเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสงโดยมีสารสียอมมาตรฐาน วัดประสิทธิภาพได้สูงถึง 5.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าสูงมากสำหรับเซลล์ที่มีรูปแบบโค้งงอได้ นอกจากนี้ และงานวิจัยของ Bing Hu และ Baoshun Liu (2015) ได้ทำการศึกษากการสังเคราะห์ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์โครงสร้างระดับนาโนด้วยวิธีการเคลือบแบบฉีดพ่นด้วยไฟฟ้าสถิตแล้วอบไอน้ำหลังฉีดพ่นใช้สำหรับการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง ศึกษาลักษณะความเป็นรูพรุน จำนวนพื้นที่ผิวสัมผัสของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดของรูพรุน และประสิทธิภาพ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่ามีลักษณะความเป็นรูปทรงสูง ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงถึง 7.2 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าสามารถทำได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร จากข้อมูลงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาชั้นรูปทรงไทเทเนียมไดออกไซด์นี้เป็นปัจจัยสำคัญมากในการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบและประดิษฐ์เครื่องเคลือบสารผงอนุภาคระดับนาโนแบบฉีดพ่นภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่และสามารถประยุกต์ใช้กับสารผงระดับนาโน สารละลายระดับนาโน และสารอื่นๆ ได้หลากหลายชนิด ที่มีความต้องการสมบัติความเป็นรูปทรงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส เช่น เคลือบสารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ที่ต้องการพื้นที่ผิวสัมผัสสูง เช่นการเคลือบสารคาร์บอนหรือแพลทินัมเพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้อีกด้วย (Slamet Widodo, Shuqing Huang and Gyeongho Kang) การเคลือบสารอนุภาคนาโนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในงานเซลล์เชื้อเพลิงพลังงานไฮโดรเจน นอกจากนี้ถ้าต้องการเคลือบชั้นงานที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ก็สามารถเคลือบได้เนื่องจากระบบไม่ได้เคลือบภายใต้ระบบสุญญากาศจะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้สูงมาก

ในงานวิจัยนี้ทำการประดิษฐ์ระบบฉีดพ่นและออกแบบเครื่องฉีดพ่นสารผงขึ้นมาใหม่ โดยจะออกแบบและสร้างเครื่องฉีดพ่นสารผงระดับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอความเข้มสูง โดยสมรรถนะของเครื่องฉีดพ่นสารผงระดับนาโนเมตรที่สร้างขึ้น ปรับอัตราการการเคลือบด้วยความดันแก๊ส ปรับการหมุนของแผ่นรองรับได้ ให้ความร้อนแก่แผ่นรองรับและปรับระยะการฉีดพ่นได้ ทั้งหมดเพื่อรองรับการประยุกต์ใช้งานกับสารชนิดต่างๆ และประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อทำการสร้างเครื่องมือเสร็จสมบูรณ์ แล้วทำการทดลองและศึกษาการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Fluorine doped-Thin Oxide, (FTO)) แล้วนำชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบแล้วไปทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) สมบัติการสะท้อนและการดูดกลืนของแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) วัดความหนาด้วยภาพถ่ายภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจี้ (Scanning Electron Microscopy, SEM) จากนั้นทำการประกอบเซลล์กับส่วนต่างๆ เพื่อประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง และวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์ (Solar Simulator, AM 1.5) ความเข้มมาตรฐาน 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และสุดท้ายงานวิจัยนี้สามารถนำสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นจากองค์ความรู้พื้นฐานเดิมมาพัฒนาและประยุกต์ใช้กับการประดิษฐ์เครื่องฉีดพ่นสารผงระดับนาโนภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ ช่วยในการลดต้นทุนการผลิต

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องค์ความรู้ใหม่ในการนำไปสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรม และสุดท้ายจะช่วยแก้ปัญหาสถานะการขาดแคลนพลังงานได้ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องฉีดพ่นภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่มีผลต่อชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้
2. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งถูกเคลือบด้วยเครื่องฉีดพ่นภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในแต่ละเงื่อนไขได้เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสียอมไวแสง
3. เพื่อหาประสิทธิภาพของเซลล์ จากการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ในเงื่อนไขต่างๆ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์ที่เคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีอื่นได้

ขอบเขตการวิจัย

1. สถานที่ทดลอง ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
2. สถานที่วิเคราะห์ผล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ คืออัตราการเคลือบ ที่เหมาะสมของเครื่องฉีดพ่นภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ
4. ศึกษาสมบัติของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องฉีดพ่นภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ โดยศึกษาจากสมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) สมบัติเชิงการสะท้อนและการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิตสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) วัดความหนาด้วยภาพถ่ายภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)
5. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ในเงื่อนไขต่างๆ โดยหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ไปทำการประกอบเซลล์แล้วทำการวัดประสิทธิภาพด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์ (Solar Simulator, AM 1.5) ความเข้มมาตรฐาน 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

ข้อจำกัด

-

สมมติฐานการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบเครื่องฉีดพ่นแบบธรรมดาที่มีอยู่แล้ว ซึ่งการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านมา ผลการทดลองได้อนุภาคทรงกลมระดับนาโนแต่ยังคงมีความเป็นรูพรุนที่น้อยมาก เนื่องจากกระเกาะกันแน่นหนาเกินไป และไม่สามรถควบคุมความหนาของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงจะทำการพัฒนาระบบฉีดพ่นและออกแบบเครื่องฉีดพ่นสารผงขึ้นมาใหม่ โดยจะออกแบบและสร้างเครื่องฉีดพ่นสารผลระดับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง จะส่งผลทำให้ ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์เกิดรูพรุนขึ้นจำนวนมาก ส่งผลต่อการดูดซับสารสีย้อมไวแสง และทำให้ประสิทธิภาพเซลล์สูงขึ้นด้วย

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)

เครื่องฉีดพ่นสาร เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสง ชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์

Spray coating Machines, Dye-sensitized solar cell (DSSC), TiO_2 Scattering layer

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบและสร้างเครื่องฉีดพ่นสารผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือประยุกต์ใช้กับสารผงระดับนาโนอื่นได้ และยังสามารถนำความรู้พื้นฐานด้านสนามไฟฟ้าที่กระทำต่ออนุภาคนาโนมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลือบสารระดับนาโน
2. สามารถทราบถึงสมบัติที่เหมาะสมของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องฉีดพ่นภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอโดยจากเทคนิคต่างๆ คือ เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) เครื่องยูวี-วิตสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) วัดความหนาด้วยภาพถ่ายภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจ (Scanning Electron Microscopy, SEM)

3. สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากเงื่อนไขต่างๆ โดยหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดด้วยการวัดประสิทธิภาพด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์ (Solar Simulator, AM 1.5) ความเข้มมาตรฐาน 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

4. สามารถนำเอาผลวิจัยที่ได้ไป นำเสนอผลงานวิจัย เผยแพร่องค์ความรู้ ระดับนานาชาติ หรือตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารงานวิจัย

5. สามารถนำเอาผลงานวิจัยไปประยุกต์ ต่อยอดงานวิจัยไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาศักยภาพด้านพลังงานทางเลือกต่อไป



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

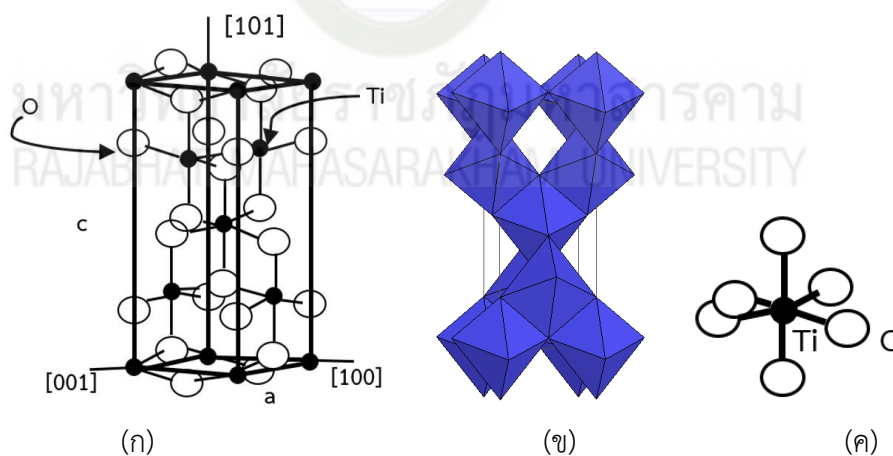
บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคคิพ่น ภายใต้สนามไฟฟ้า สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจึงขอเสนอองค์ความรู้ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเด็นต่อไปนี้

2.1 สมบัติของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำซึ่งมีแถบช่องว่างพลังงาน 3.2 eV โดยแถบช่องว่างนี้จะขยายกว้างมากขึ้นเมื่อมีอนุภาคแสง (photons) ตกกระทบ ซึ่งจะส่งผลให้อิเล็กตรอนย้ายตำแหน่งจากแถบวาเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (conduction band) มีโครงสร้างแบบเตตระโกนอล (tetragonal) ดังรูปที่ 2.1 ด้วยลักษณะโครงสร้างของผลึกทำให้มีลักษณะความเป็นรูพรุนสูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์ โดยมีคุณสมบัติและลักษณะโครงสร้างดังนี้ (ธรรมบุญศรีทะวงศ์, 2555)



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของ TiO_2

(ก) โครงสร้างแบบเตตระโกนอล

(ข) โครงสร้างแบบสามมิติ

(ค) การเกาะตัวกันระหว่างธาตุไทเทเนียมกับออกซิเจน

ทีมา (มหาวิทยาลัยโคโลราโด, 2555)

คุณสมบัติพื้นฐานของไทเทเนียมไดออกไซด์ในแต่ละรูปแบบได้จาก ตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไทเทเนียมไดออกไซด์

ปริมาณต่างๆ	ค่าปริมาณ
Lattice constant	a, b = 3.74 Å ⁰ c = 9.39 Å ⁰
Structure	Tetragonal
Resistivity (25°C)	10 ¹² ohm.cm
Refractive Index	2.49 (anatase)
Density	3.84 g.cm ⁻³
Orientation plane	(101)

ที่มา (จิราภรณ์ คำจันทร์, 2551)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์แต่ละรูปแบบโครงสร้าง

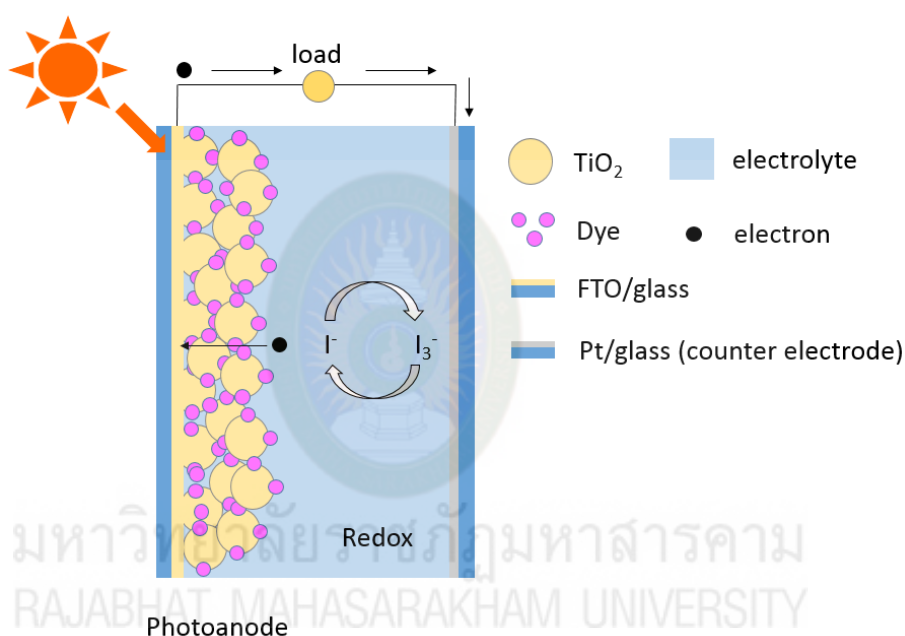
รูปแบบโครงสร้าง	สภาพเคลื่อนที่ได้ (cm ² / V · s)	ช่วงแถบพลังงาน (eV)
Anatase	~10	3.2 (indirect)
Rutile	~1	3.0 (indirect)
Brookite	-	-

ที่มา (จิราภรณ์ คำจันทร์, 2551)

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye – sensitized Solar Cells)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยศาสตราจารย์ Michael Gratzel ที่ Laboratory for Photonics and Interfaces, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ในปี ค.ศ. 1991 โดยเป็นเซลล์ไฟฟ้าจากพลังงาน

แสง (photovoltaic cell) ที่เลียนแบบกระบวนการสังเคราะห์แสงในธรรมชาติ มีการใช้สีย้อมเป็นตัวดูดกลืนพลังงานโฟตอนจากแสงอาทิตย์ เพื่อทำให้เกิดการกระตุ้นส่งอิเล็กตรอนไปอยู่ในสถานะกระตุ้นที่พร้อมจะเคลื่อนที่ต่อไปยังสารกึ่งตัวนำกลุ่มไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดระดับนาโนที่โมเลกุลสีย้อมเกาะอยู่ หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่จะเคลื่อนไปยังขั้วอิเล็กโทรด (electrode) โปรงแสงสว่างจรภายนอก (load หรือ storage) ขณะเดียวกันจะเกิดกระบวนการรับอิเล็กตรอนคืนของสีย้อมจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์กลุ่ม I^-/I_3^- ที่รับอิเล็กตรอนจากขั้วอิเล็กโทรดอีกด้านที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบอยู่โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์-ออกซิเดชัน หรือ รีดอกซ์ (redox) ดังรูปที่ 2.2



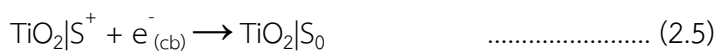
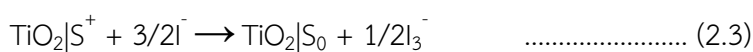
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ที่มา (ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล : เว็บไซต์)

1. องค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงประกอบด้วยแคโทดหรืออิเล็กโทรด (counter-electrode) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาให้กับอิเล็กตรอน ที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) โดยที่แคโทดหรืออิเล็กโทรดต้องมีสมบัติคือ มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดี มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการเกิดปฏิกิริยามาก และจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วยวัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นแคโทดหรืออิเล็กโทรดคือ แพลทตินัม (Pt) ชั้นเวิร์คกิ้ง (working) ซึ่งประกอบด้วยกระจกนำไฟฟ้า ชั้นสารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ในที่นี้คือ ไททาเนียม (TiO₂) โมเลกุลสีย้อม (Dye) สีย้อมไวแสงที่เหมาะสมในการใช้งานควรมีคุณสมบัติเบื้องต้นคือ เป็นโมเลกุลที่ดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงได้มากเป็นช่วงกว้าง ในช่วงความยาวคลื่นที่มีแสงตกลงมา มาก ซึ่งสีย้อมที่ใช้ในที่นี้คือ

(สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูทีเนียม), N3 dicarboxylic acid หรือ สีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ดอกอัญชัน ดอกดาวเรือง เปลือกมังคุด แต่คุณภาพต่ำกว่า N719 และ N3 สารอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าทีในการรับและให้อิเล็กตรอนจากแคโทดหรืออิเล็กโทรดโมเลกุลสีย้อมที่ทำงานภายในวงจร โดยในที่นี้ใช้สารไอโอดีน (I⁻) เป็นสารอิเล็กทรอนิกส์ และกระจกนำไฟฟ้า (transparent conductive oxide) ทำจากดีบุกออกไซด์ผสมสารฟลูออไรด์ (SnO₂ : F) หรือ FTO มีความโปร่งใสและนำไฟฟ้าที่ดี

2. หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เมื่อแสงตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ โมเลกุลสีย้อมไวแสงที่เกาะบนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์ (ตัวอย่างเช่น TiO₂) จะดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสง ($h\nu$) แล้วอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state, S₀) จะถูกเร้าให้ขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state, S*) ดังสมการดูดกลืนแสง (2.1) จากนั้นอิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นจะถูกส่งผ่านไปแถบการนำไฟฟ้า (conduction band, cb) ของอนุภาคโลหะออกไซด์ดังสมการส่งผ่านอิเล็กตรอน (2.2) แล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านจากสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ไปยังขั้วแอโนดแล้วออกสู่วงจรภายนอกเซลล์กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในวงจรภายนอกเซลล์จากนั้นอิเล็กตรอนจะวิ่งกลับเข้าสู่เซลล์ที่ขั้วแคโทดที่ขั้วนี้สารอิเล็กทรอนิกส์ (ตัวอย่างเช่น ไอโอดีน/ไตรไอโอดีน) จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์โดยให้อิเล็กตรอนกับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอน (S⁺) ทำให้โมเลกุลสีย้อมกลับสู่สถานะพื้น (S₀) ดังสมการ (2.3) ในขณะเดียวกันสารอิเล็กทรอนิกส์จะรับอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทด (ตัวอย่างเช่น โลหะแพลทตินัม Pt) ดังสมการ (2.4) แต่ในกระบวนการก็อาจมีปฏิกิริยาที่ให้ผลเชิงลบประกอบด้วยการรวมกันใหม่ของอิเล็กตรอนที่กำลังเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้าของอนุภาคโลหะออกไซด์กับสีย้อมไวแสงที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปทำให้สีย้อมไวแสงกลับสู่สถานะพื้นโดยไม่มีอิเล็กตรอนออกไปนอกเซลล์จึงไม่เกิดกระแสไฟฟ้า ดังสมการ (2.5) และการพบกันของอิเล็กตรอนที่กำลังเข้าสู่แถบการนำไฟฟ้าของอนุภาคโลหะออกไซด์กับสารอิเล็กทรอนิกส์ทำให้สูญเสียอิเล็กตรอนที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ดังสมการ (2.6)





3. การวิจัยและพัฒนาของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (DSSC) ใน DSSC ที่ใช้ออนูภาคนาโนเป็นขั้วรับแสงนั้นเมื่ออิเล็กตรอนได้รับการกระตุ้นจากแสงจะวิ่งไปยังอนูภาคนาโนอื่นๆ เพื่อเคลื่อนไปยังขั้วไฟฟ้าของเซลล์แต่ระหว่างเคลื่อนที่นั้นจะทำให้เกิดการสูญเสียของอิเล็กตรอนขึ้นที่รอยต่อระหว่างผลึกของอนูภาคนาโนการใช้วัสดุนาโนที่เติบโตใน 1 มิติมาแทนอนูภาคนาโนในเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้จะทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านวัสดุนาโนได้ดีและง่ายขึ้นซึ่งคาดว่าจะทำให้ประสิทธิภาพของ DSSC นั้นดีขึ้น

นอกจากนั้นยังมีแนวทางวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความทนทานและอายุการใช้งานของ DSSC ในหลายด้าน เช่น การพัฒนาขั้วไฟฟ้าที่ราคาไม่แพงการพัฒนาอนุภาคโลหะออกไซด์ที่ส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดีและมีพื้นที่ผิวมากการพัฒนาสีย้อมไวแสงที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้มากขึ้นในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างขึ้นการพัฒนาสารอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่ใช่ของเหลวเพื่อให้มีความเสถียรต่อการใช้งานและการพัฒนาระบบการประกบเซลล์ (sealing) เพื่อยืดอายุการใช้งานของเซลล์เป็นต้น

4. ข้อดีและข้อเสียของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า (photo electrochemical system) สามารถพัฒนาประสิทธิภาพได้หลายชั้น เช่น ชั้น counter electrode และชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) อีกทั้งวัสดุที่ใช้ในการเคลือบมีราคาถูก และกระบวนการสร้างไม่ซับซ้อน ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ในขณะที่มีความเข้มแสงต่ำแต่ข้อเสียคือ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ายังต่ำมีการเสื่อมประสิทธิภาพเร็ว แต่อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ก็ยังคงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาหรือวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพต่อไป

2.3 การวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

จากวงจรการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงอาศัยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน แสดงให้เห็นว่าหากมีการสร้างอิเล็กตรอนบนขั้วเวิร์คกิ้งอิเล็กโทรดจำนวนมากก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า จะแปรผันตามจำนวนอิเล็กตรอนหรือจำนวนโมเลกุลของเม็ดสีย้อมไวแสงนั่นเอง เราจึงสามารถทดสอบประสิทธิภาพของ DSSC ได้ด้วยวิธีการหาความเข้มของโมเลกุลสีย้อมได้เช่นกัน

1. การวัดค่าความเข้มของสารสีย้อมไวแสงด้วยเครื่องมือ UV-Vis spectrophotometer ใช้หลักการดูดกลืนแสงของสารประกอบในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร หรือครอบคลุมสเปกตรัมในช่วง UV และ Visible อิเล็กตรอนในโมเลกุลจะถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนระดับพลังงาน การรับ

พลังงานของธาตุหรือโมเลกุลแต่ละชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะเคมี ทำให้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารประกอบมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งใช้เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์

2. การวัดประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่อง IV Tester การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปวิเคราะห์โดยอ้างอิงจากค่า Air Mass, AM ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\cos(\theta_z)$ โดยที่ θ_z หรือมุม zenith คือมุมที่กระทำกับเส้นตั้งฉากจากดวงอาทิตย์มายังโลก ค่า AM จะมีค่ามากที่สุดเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 0 องศา กับพื้นโลกและเนื่องจากการสร้างกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ จะขึ้นความเข้มรังสีของแสงที่นำมาทดสอบ ดังนั้น American Society for Testing and Materials (ASTM) จึงได้กำหนดค่า AM ขึ้นเพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์คือ AM 1.5 ที่มุม zenith ดังรูปที่ 2.3 แผนภาพแสดง Calibration Curve = 48.2° ซึ่งเทียบได้กับค่าความเข้มรังสีของแสงหรือไฟฟ้าที่ตกกระทบบนพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ W/cm}^2$ หรือ 100 mW/cm^2 มาตรฐานในการบอกความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เรียกว่าค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (η) โดยคิดเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ นิยามจากกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับวงจรภายนอก (P_{\max}) ต่อกำลังไฟฟ้าของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ (P_{in}) คูณด้วย 100 เปอร์เซ็นต์

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\eta = \frac{I_{\max} V_{\max}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

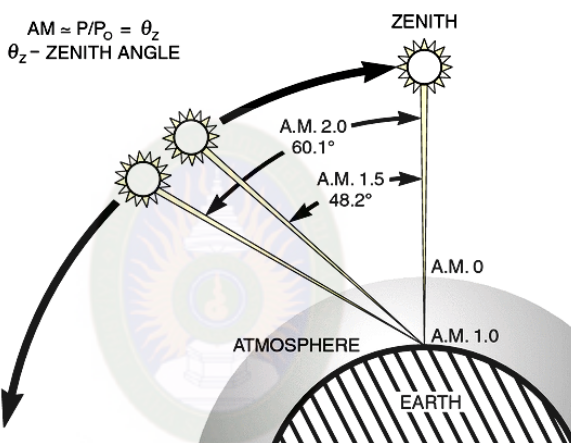
เมื่อ I_{\max} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด V_{\max} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดสำหรับในโปรแกรมการคำนวณจะมีการกำหนดค่าฟิลด์แฟกเตอร์ (Fill Factor, FF) โดยนิยามจากพื้นที่ใต้กราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์โดย $I_{\max}V_{\max}$ คือ พื้นที่ใต้กราฟที่มากที่สุดที่พลอตระหว่าง $I_{sc}V_{oc}$ ที่มากที่สุด

$$FF = \frac{I_{\max} V_{\max}}{I_{sc} V_{oc}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

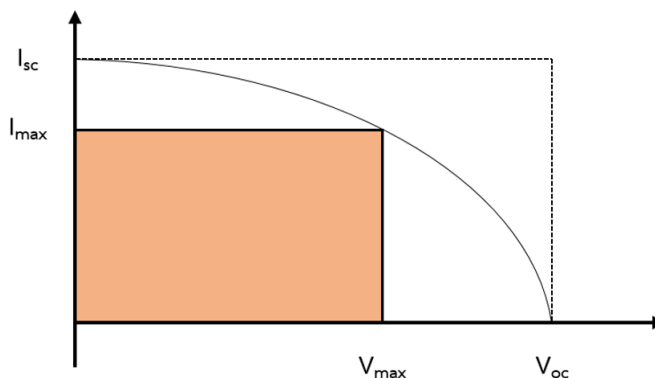
เมื่อ I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าวงจรถัด และ V_{oc} คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรถัด ดังสมการประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานในการบอกความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\eta = \frac{I_{sc} V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์อุดมคติ คือ เซลล์ที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน จะมีประสิทธิภาพของเซลล์เป็น 100% กล่าวคือกำลังไฟฟ้าที่เซลล์ผลิตได้จะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้เซลล์หรือเซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงที่ตกกระทบบนเซลล์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน (กมลพรรณ ชุมพล, 2555)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แสงอาทิตย์กระทำกับเส้นตั้งฉากที่ผิวโลกกับค่ามวลอากาศที่มา (กมลพรรณ ชุมพล, 2555)



รูปที่ 2.4 กราฟลักษณะเฉพาะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ (I-V curve) ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มา (กมลพรรณ ชุมพล, 2555)

2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนี้ไม่จำเป็นที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากัน การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

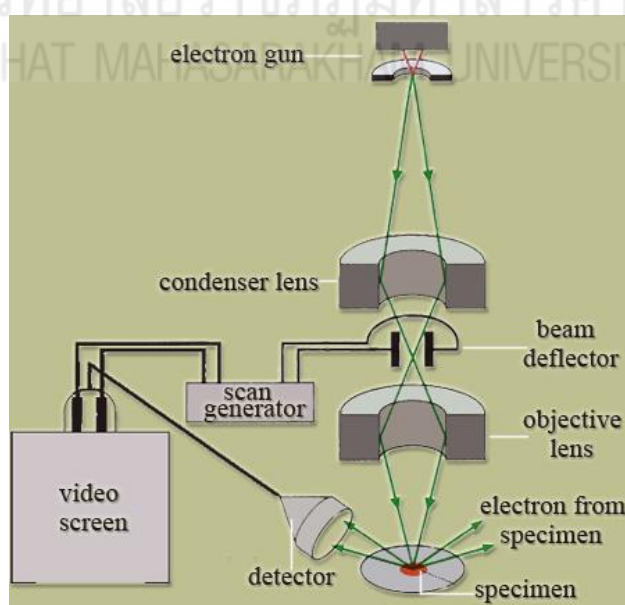


รูปที่ 2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555)

ส่วนประกอบพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทั่วไปประกอบด้วย โครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน โครงสร้างง่ายๆที่เห็นได้ชัดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ รูปที่ 2.6 คือส่วนที่มีลักษณะคล้ายปล่อง ภายในกลวงเรียกว่า column และส่วนที่เป็นตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมดเรียกว่า console unit ทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถเห็นได้ชัดเพราะเป็นลักษณะภายนอกทั่วไปของ SEM จะขาดอย่างใดอย่างหนึ่งเสียมิได้เพราะ column ยังประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐานที่ให้กำเนิดอิเล็กตรอนแล้วรวบรวมให้ส่องไปยังผิวของตัวอย่างที่วางอยู่ในช่องตัวอย่างซึ่งอยู่บริเวณฐานของ column อุปกรณ์ซึ่งรับสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในหลังอิเล็กตรอนกระทบตัวอย่างถูกจัดวางไว้อย่างเหมาะสมในบริเวณนี้เช่นกันส่วนภายใน console unit ซึ่งแผงควบคุมระบบควบคุมไฟฟ้าระบบสุญญากาศและระบบถ่ายภาพนั้นประกอบด้วยชิ้นส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จัดไว้เป็นระบบเช่นการควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนภายใน column จำเป็นต้องใช้ปุ่มบังคับที่อยู่บนแผงควบคุมของ console unit นอกเหนือจาก column

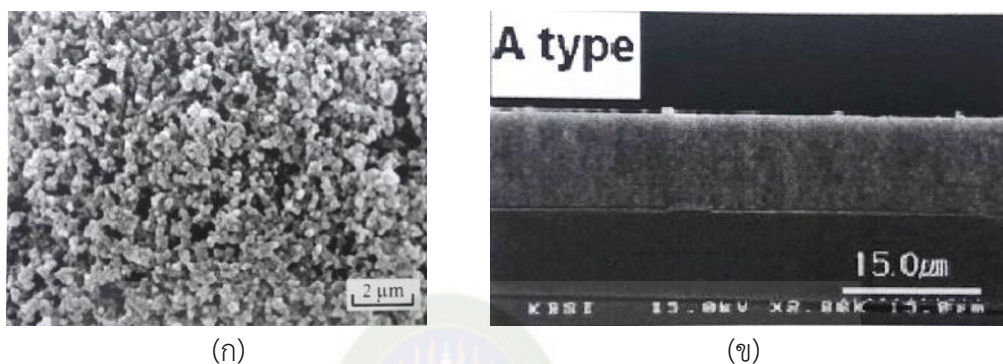
และ console unit ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นยิ่งสำหรับ SEM แล้ว SEM ยังมีส่วนประกอบที่จำเป็น เช่นเดียวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) คือระบบทำสุญญากาศ (vacuum system) ระบบทำไฟฟ้าแรงสูง (high voltage generator) และระบบทำความเย็นโดยการหมุนเวียนน้ำเย็น (water cooling system) ซึ่งระบบต่างๆเหล่านี้สามารถหารายละเอียดได้จากตำราหรือหนังสือที่เกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั่วไปเพื่อจะให้เข้าใจถึงระบบการทำงาน SEM รวมทั้งการใช้และการบำรุง SEM ได้อย่างถูกต้องผู้ใช้หรือผู้ที่สนใจ SEM จำต้องศึกษาส่วนประกอบพื้นฐานต่างๆของ SEM ในรายละเอียดเพื่อให้ได้ทราบถึงทฤษฎีหรือเหตุผลของแต่ละส่วนที่จำเป็นสำหรับการใช้ SEM ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษาหลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
ที่มา (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อหวิทยาลัยมหิดล, 2555)

ข้อดีของเครื่อง SEM เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง TEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ ในขณะที่ภาพจากเครื่อง TEM จะให้ภาพลักษณะ 2 มิติ โดยผลจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(ก) พื้นผิวของอนุภาค TiO_2 ที่ได้จากเครื่อง SEM

(ข) อนุภาคของ TiO_2 ภาคตัดขวางที่ได้จากเครื่อง SEM

ที่มา (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555)

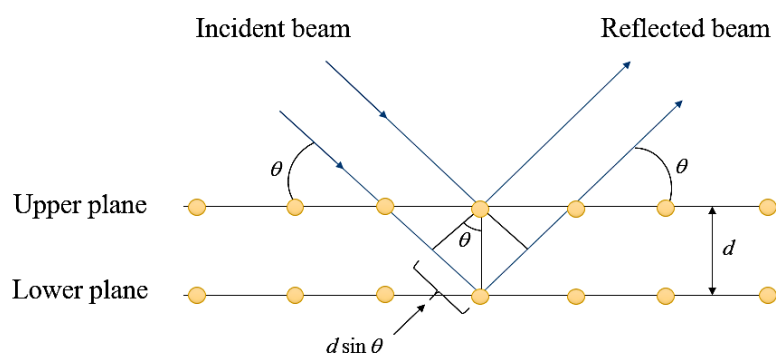
2.5 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD)

เครื่องตรวจวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (non-destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุรายละเอียดองค์ประกอบของสารตัวอย่าง



รูปที่ 2.8 เครื่องตรวจวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)
ที่มา (ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์, 2555)

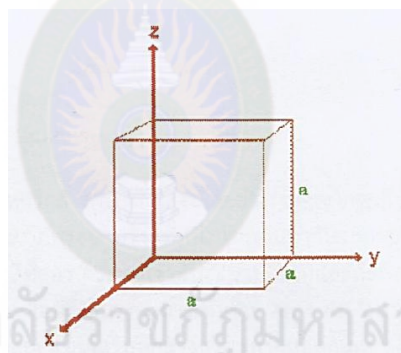
หลักการและวิธีการวิเคราะห์ คือ วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d แสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลึก



รูปที่ 2.9 แสดงระยะห่างระหว่างระนาบ d
ที่มา (จรัส บุญยธรรม, 2555)

ระนาบ คือ แนวที่อะตอมเรียงตัวกันเป็นเส้นตรงใน 2 มิติ หรือเป็นแผ่นตรงใน 3 มิติ ระนาบไม่จำเป็นจะต้องอยู่ในแนวขนานกับแลตทิซถ้ามีแสงหรือรังสีตกกระทบกับผลึกที่เอียงอยู่ระนาบที่สะท้อนรังสีออกไปก็จะไม่ใช่ระนาบที่ขนานกับด้านยาวของแลตทิซถ้าความยาวของด้าน แลตทิซลูกบาศก์(cubic lattice)เท่ากับ a ระยะห่างระหว่างระนาบสองเส้นแรกในรูปข้างล่างนี้ (คู่ซ้ายสุด) ก็คือ a ระยะห่างระหว่างระนาบนี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย XRD เนื่องจากกราฟที่ได้จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างระนาบ อันเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิด เนื่องจากวัสดุมีความยาวของแลตทิซไม่เท่ากันและอะตอมเรียงตัวต่างๆ กันไปทำให้มีระยะห่างระหว่างระนาบไม่เท่ากัน การใช้ดัชนีระนาบ miller indices นั้นเป็นการเรียกชื่อระนาบเพื่อความง่ายและสามารถนำไปใช้คำนวณหาระยะทางระหว่างระนาบได้ด้วย โดยดัชนี miller indices นั้นจะเขียนเป็น (hkl) โดย h, k, l นั้นเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม การหา Miller indices ทำได้ดังนี้

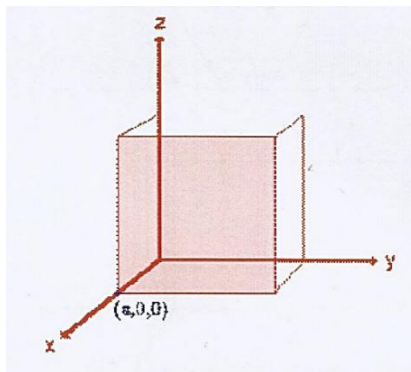
1. หาจุดกำเนิด (origin)ของแกน x, y, z



รูปที่ 2.10 จุดกำเนิด (origin) ของแกน x, y, z

ที่มา (จรัส บุญยธรรม, 2555)

2. หาจุดตัดของระนาบกับแกน x, y, z โดยระนาบนี้จะต้องไม่ผ่านจุดกำเนิด (origin)ระนาบนี้จะตัดกับแกน x ที่ a และเนื่องจากขนานกับแกน y และ z จึงตัดกับแกน y, z ที่ ∞



รูปที่ 2.11 จุดตัดของระนาบแกน x, y, z
ที่มา (จรัส บุญยธรรม, 2555)

3. กำหนดเศษส่วนของความยาวของหน่วยเซลล์ (unit cell) ในรูปข้างบนนี้ หน่วยเซลล์มีความยาว a ทุกด้าน เพราะเป็นคิวบิก (cubic) จุดที่ตัดแกน x จึงเป็น 1 เท่าของ a และ y, z ก็ยังคงเป็น ∞

4. กลับเศษเป็นส่วน (เอาไปหารหนึ่ง) $1/1 = 1$ และ $1/\infty = 0$

5. ทำให้เลขเป็นจำนวนเต็มน้อยที่สุดได้ $1, 0, 0$ จากจุดตัดแกน x, y, z เขียนในรูป (hkl) ระนาบนี้จึงเรียกว่าเป็นระนาบ (100)

ในปี ค.ศ. 1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดว่าเมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบนระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบบน (θ) รังสีเอกซ์บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (หรือเลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบบน แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ ถูกเสนอในรูปสมการ ซึ่งสมการดังกล่าวเรียกว่า "Bragg's Law"

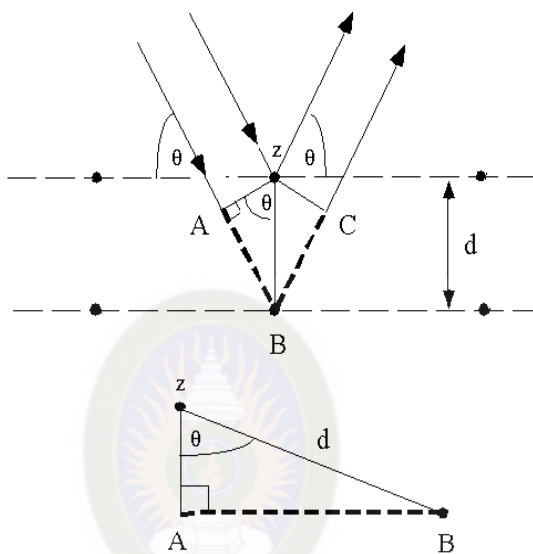
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

เมื่อ n = เลขจำนวนเต็ม, θ = มุมตกกระทบบน, λ = ความยาวคลื่น

การพิสูจน์กฎของแบรกก์ สามารถพิสูจน์ได้อย่างง่ายๆ จากรูปที่ 2.12 ให้รังสีตกกระทบบนทั้ง 2 ลำมีเฟสตรงกันทำมุม θ กับระนาบรังสีที่หนึ่งตกกระทบบนเข้ากับระนาบบนและสะท้อนออกมาทำมุม θ กับระนาบส่วนรังสีที่สอง ตกกระทบบนเข้ากับระนาบถัดไปและสะท้อนออกมาทำมุม θ กับระนาบที่สองโดยรังสีที่สองจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางเพิ่มขึ้น $AB + BC$ แทรกสอดกับคลื่นลำที่หนึ่ง

ซึ่งคลื่นทั้งสองลำอาจจะแทรกสอดแบบเสริมหักล้างหรือแทรกสอดกันแบบไม่ตรงเฟสกันก็ได้ แต่ถ้าจะให้มีการแทรกสอดแบบเสริมกันระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ขึ้นมาขึ้นนั้น จะต้องเท่ากับจำนวนเต็ม (n) คูณกับความยาวคลื่นดังสมการต่อไปนี้

$$n\lambda = AB + BC \quad \dots\dots\dots (2.12)$$



รูปที่ 2.12 พิสูจน์กฎของแบรกก์

ที่มา (จรัส บุญยธรรมา, 2555)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พิจารณาสามเหลี่ยมมุมฉาก ABz จะได้

$$AB = d \sin \theta \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

เพราะว่า $AB = BC$ ดังนั้นสมการที่ (2.12) จะเปลี่ยนเป็น

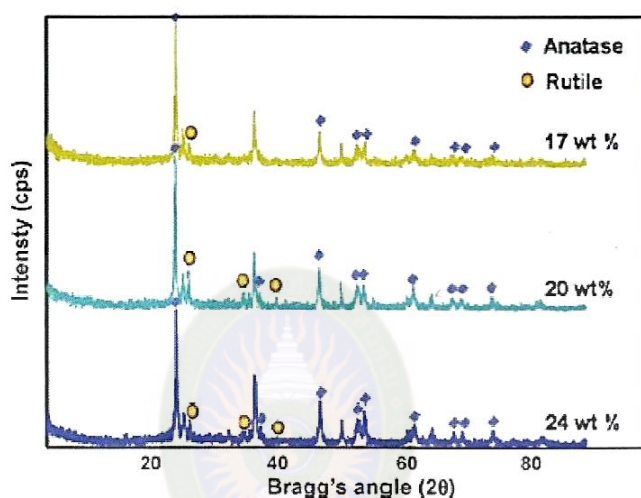
$$n\lambda = 2AB \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.14) ลงในสมการที่ (2.13) จะได้

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

สอดคล้องกับสมการที่ (2.11) ซึ่งก็คือกฎของแบรกก์นั่นเอง

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุที่เป็นผลึกจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ดังนั้นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าสารตัวอย่างนั้นประกอบด้วยวัสดุที่เป็นผลึกชนิดใดบ้าง ความกว้างของพีค (peak) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เป็นผลเนื่องมาจากเครื่องมือและลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่าง ได้แก่ ความเครียดจุลภาค ข้อบกพร่องของผลึก และขนาดของตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาขนาดของผลึกและความเครียดจุลภาคจากความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ได้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากการวัดแผ่นฟิล์มบางด้วย XRD

ที่มา (nabond, 2555)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การหาขนาดของผลึกและปริมาณเฟส นำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาขนาดของผลึกตามสมการของเชียร์ (Scherrer) ดังแสดงในสมการที่ 2.16 พร้อมทั้งคำนวณหาค่าปริมาณเฟสดังสมการ 2.17 ถึง 2.19(วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา, 2555)

$$d = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta_B} \dots\dots\dots (2.16)$$

เมื่อ D คือ ขนาดของผลึก

λ คือ Wavelength of the x-ray radiation (CuK α = 0.15406 nm)

β คือ Angle width at half maximum height

θ_B คือ diffraction angle of the centroid of the peak in degree

$$W_a = k_a A_a / (k_a A_a + A_r + k_b A_b) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$W_r = A_r / (k_a A_a + A_r + k_b A_b) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$W_b = k_b A_b / (k_a A_a + A_r + k_b A_b) \dots\dots\dots (2.19)$$

เมื่อ W_a , W_r และ W_b คือ สัดส่วนน้ำหนักของเฟสอานาเทส รูไทล์และบลูไคต์ ตามลำดับ A_a , A_r และ A_b คือ ความเข้มของฟิครอานาเทส (101) ฟิครูไทล์ (110) และฟิคบลูไคต์ (121) ตามลำดับ ส่วนสัมประสิทธิ์ k_a และ k_b มีค่าเท่ากับ 0.886 และ 2.721 ตามลำดับ

2.6 การวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดผลึกผงจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เมื่อขนาดเม็ดผลึกน้อยกว่า 100 นาโนเมตร จะพบว่า เมื่อมุมตกกระทบมีค่าใกล้เคียงมุมแบรกก์ $2\theta_B$ เพราะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างไม่สมบูรณ์ของรังสีเอกซ์ที่กระเจิง ผลที่ตามมาก็คือ ทำให้ฟิครเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่ง $2\theta_B$ นั้นกว้างขึ้น (broaden) เมื่อเทียบกับกรณีที่มีเม็ดผลึกมีขนาดใหญ่ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ผลขนาดเกรน (Grain size effect)

เมื่อรวมผลของผลขนาดเกรน และความเค้นที่มีต่อฟิครเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ขนาดของเม็ดผลึก (D) จะสัมพันธ์กับความกว้างของฟิครตามสมการ Bull

$$\frac{B \cos \theta}{\lambda} = \frac{1}{D} + 4(\Delta\varepsilon) \frac{\sin \theta}{\lambda} \dots\dots\dots (2.20)$$

เมื่อ β เป็นความกว้างของฟิคร (FWHM) λ เป็นความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ และ $\Delta\varepsilon$ เป็นขนาดความเครียดเฉลี่ย ซึ่งต้องนำมาคิดในกรณีที่มีผลของความเค้นไม่สมำเสมอต่อความกว้างของฟิครด้วย โดยทั่วไปค่า β สามารถหาได้จาก Cullity (คู่มือการจัดการเรียนรู้การสอนฟิสิกส์สถานะของแข็ง ระดับบัณฑิตศึกษา, 2556)

$$\beta = (\beta_m^2 - \beta_0^2)^{1/2} \dots\dots\dots (2.21)$$

สมการที่ใช้ในการหาขนาดของผลึก

$$B = \frac{0.9\lambda}{FWHM \cos \theta} \dots\dots\dots (2.22)$$

โดยที่ β_m เป็น full width at half maximum (FWHM) ของพีคที่วัดได้ β_0 เป็น Full Width at Half Maximum (FWHM) ของพีคเนื่องจากเครื่องมือวัดซึ่งมักใช้ค่าจาก FWHM จากพีคที่ตำแหน่งเดียวกัน แต่ได้จากสารตัวอย่างที่มีขนาดเม็ดผลึกใหญ่กว่า $1 \mu\text{m}$ ขึ้นไปให้สังเกตว่ากรณีที่ขนาดของเม็ดผลึก (D) มีค่ามากๆ สมการ 2.20 จะลดรูปเป็นสมการ $\beta = 4 \tan \frac{2\theta}{2} (\Delta\varepsilon)$ หมายความว่า ไม่มีผลของผลขนาดเกรนนั่นเอง

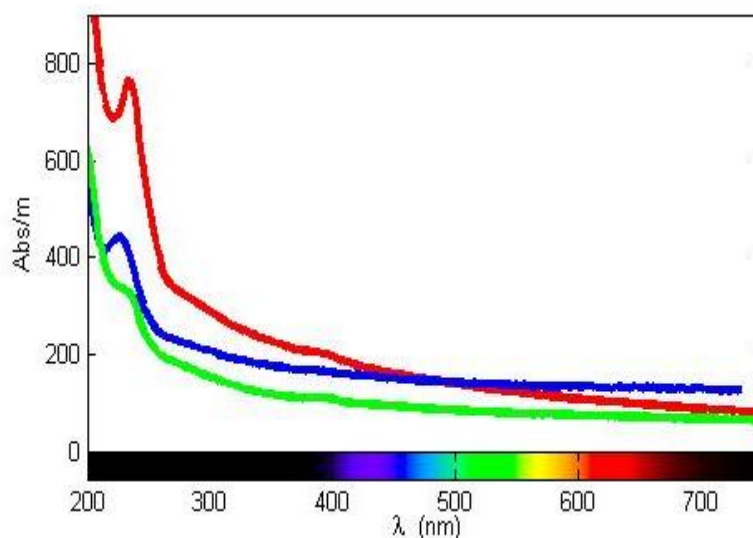
2.7 เครื่อง UV-vis spectrophotometer



รูปที่ 2.14 เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

ที่มา (จินดาพร บุญวัฒน์นา, 2558: เว็บไซต์)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 nm ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าความยาวคลื่น (wavelength) ซึ่งเรียกว่า สเปกตรัม (spectrum) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าความยาวคลื่น (wavelength)

ที่มา (จินดาพร บุญวัฒนา, 2558: เว็บไซต์)

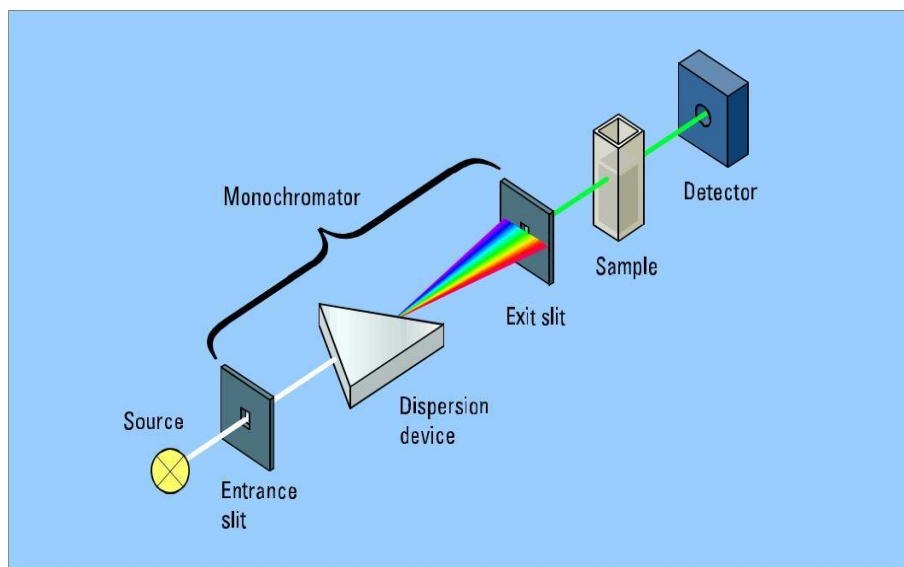
2.8 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-vis spectrophotometer

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง visible ใช้หลอด tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น

2. โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติกให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือเกรตติง

3. ภาชนะใส่สารตัวอย่าง (cell sample) เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกาและควอร์ต ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. ตัวตรวจจับสัญญาณ (detector) ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)

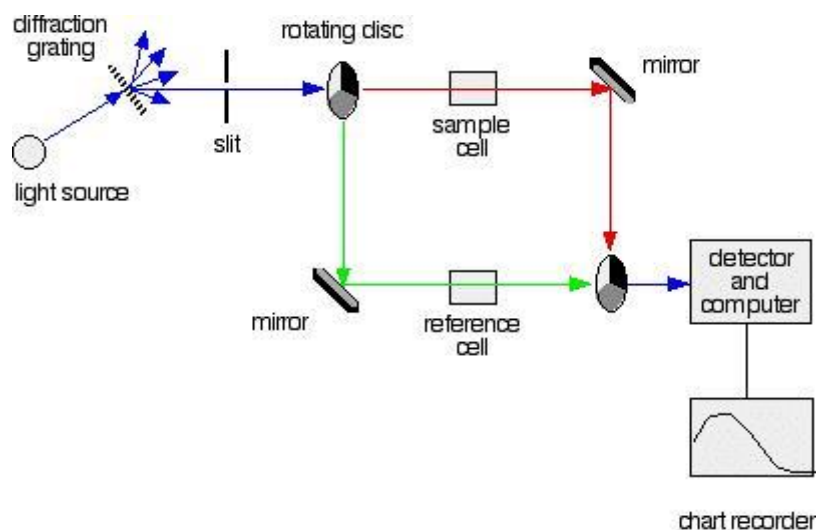


รูปที่ 2.16 องค์ประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer
ที่มา (จินดาพร บุญวัฒนา, 2558: เว็บไซต์)

2.9 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไป

1. Single-Beam Spectrophotometer เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่างแล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เนื่องจากสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

2. Double-Beam Spectrophotometer ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่ (จินดาพรบุญวัฒนา, 2558: เว็บไซต์)

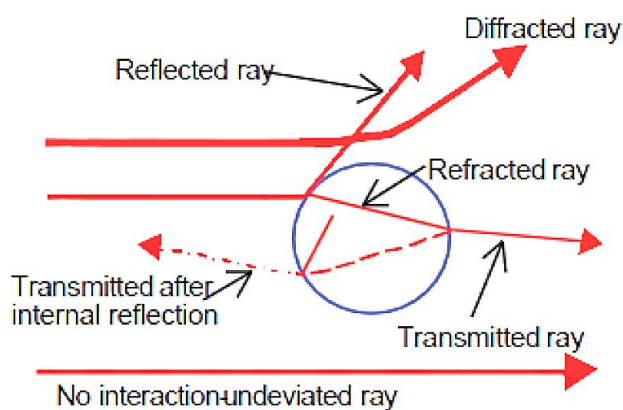


รูปที่ 2.17 Double beam spectrophotometer

ทีมา (จินดาพร บุญวัฒนา, 2558: เว็บไซต์)

2.10 หลักการกระเจิงแสง

พิจารณาเฉพาะอนุภาคใดๆ โดยใช้หลักการกระเจิงแสงจะเห็นว่าเมื่อแสงตกกระทบบนอนุภาคจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เชิงแสง ซึ่งจะประกอบด้วย การสะท้อนของแสง, การหักเหของแสง และการเลี้ยวเบนของแสง ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ปรากฏการณ์การกระเจิงแสงเมื่อตกกระทบบนอนุภาค

ทีมา (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, สำนักหอสมุด : เว็บไซต์)

จากกฎการสูญเสียพลังงานสามารถอธิบายได้ตามสมการ (2.23)

$$\text{Extinction} = \text{scattering} + \text{absorption} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

โดยที่ Scattering คือ การกระเจิงของแสง
Absorption คือ การดูดกลืนของแสง

$$\text{เมื่อ Scattering} = \text{reflection} + \text{refraction} + \text{diffraction} \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

โดยที่ Reflection คือ การสะท้อนของแสง
Refraction คือ การหักเหของแสง
Diffraction คือ การเลี้ยวเบนของแสง

กรณีการดูดกลืนของลำแสงมีประสิทธิภาพไม่เป็น 100% โฟตอนในลำแสงบางตัวอาจจะไม่ถูกสะท้อนหรือส่งผ่านออกมาจากวัตถุ ในบางกรณีการดูดกลืนอาจจะเข้าใกล้ 100% และมีโฟตอนบางส่วนถูกสะท้อนออกหลังกระทบวัตถุ และมีบางส่วนที่ส่งผ่านวัตถุออกมาหลังการหักเหของแสง ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งหมดนี้จัดอยู่ภายใต้รูปแบบการกระเจิงแสงแบบเรย์ไลและไมย์ โดยมีค่า α เป็นตัวเลือกรูปแบบการกระเจิงแสงซึ่งมีขนาดของอนุภาคเป็นตัวกำหนดและผูกพันกับค่าความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบ ตามสมการ (2.25)

$$\alpha = \frac{\pi D}{\lambda} : D = 2r \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

เมื่อ D คือ ขนาดของอนุภาค หน่วยไมโครเมตร
r คือ รัศมีของอนุภาค หน่วยไมโครเมตร
 λ คือ ค่าความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ หน่วยไมโครเมตร

โดยที่ $\alpha \ll 1$ คือ รูปแบบของ Rayleigh Scattering Theory
 $\alpha \approx 1$ คือ รูปแบบของ Mie Scattering Theory
 $\alpha \gg 1$ คือ รูปแบบของ Geometric Scattering Theory

ตารางที่ 2.3 การหาค่า α แสดงความสัมพันธ์ของอนุภาค (D) ที่ขนาด 0.1 ถึง 0.6 ไมโครเมตรกับ ความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 0.488 และ 0.6328 ไมโครเมตร

$\alpha = \pi D/\lambda = 2\pi r/\lambda$						
Dimeter (D)	Radius (r)	Parameter (α)	Wavelength ($\lambda = 0.488 \mu\text{m}$)	Wavelength ($\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$)		
0.001 μm	0.0005 μm	$(\alpha \ll 1)$	0.006	0.005	Rayleigh Scat.	
0.002 μm	0.001 μm		0.013	0.010		
0.003 μm	0.0015 μm		0.019	0.015		
0.004 μm	0.002 μm		0.026	0.020		
0.005 μm	0.0025 μm		0.032	0.025		
0.007 μm	0.0035 μm		0.045	0.035		
0.01 μm	0.005 μm		0.064	0.050		
0.02 μm	0.01 μm		0.129	0.099		
0.03 μm	0.015 μm		0.193	0.149		
0.1 μm	0.05 μm		0.643	0.496		
0.2 μm	0.1 μm	$(\alpha \gg 1)$		1.287	1.000	Mie Scat.
0.3 μm	0.15 μm			1.930	1.489	
0.4 μm	0.2 μm			2.574	1.985	
0.5 μm	0.25 μm			3.217	2.481	
0.6 μm	0.3 μm			3.861	2.977	

จากตารางที่ 2.3 เป็นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ (α) ที่ขนาดอนุภาค D ตั้งแต่ 1 ถึง 0.6 ไมโครเมตร ใช้ λ เท่ากับ 0.488 และ 0.6328 ไมโครเมตร ซึ่งแสดงตัวอย่างการคำนวณค่า $\alpha = (3.14)(0.007 \times 10^{-6}) / (0.488 \times 10^{-6}) = 0.045$ ซึ่งตกอยู่ในช่วง $\alpha \ll 1$ ที่เป็นการกระเจิงแสงรูปแบบ เรย์ไล และค่า $\alpha = (3.14)(0.4 \times 10^{-6}) / (0.6328 \times 10^{-6}) = 2.574$ ซึ่งตกอยู่ในช่วง $\alpha \gg 1$ ที่เป็นการกระเจิงแสงรูปแบบไมย์ จากการคำนวณดังกล่าวจึงสามารถอธิบายรูปแบบการกระเจิงแสงเพื่อนำไปสู่ การเลือกความยาวคลื่นของแสงและเลือกรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อใช้กับระบบในงานวิจัยต่อไป

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Guan-Jun Yang (2007) การเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกเคลือบด้วยวิธีฉีดพ่นอย่างรวดเร็ว ซึ่งใช้ผงของไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนาเทส และซินิทรูไทล์ ใช้ความเข้มข้นสารละลายของอนาเทส 55% ถึง 65% และใช้ซินิทรูไทล์ 35% ผลจากการปลูกไทเทเนียมไดออกไซด์นำไปวิเคราะห์ด้วยพีอีดีเอ็กซ์ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าพบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนาเทสจะให้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดซินิทรูไทล์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ เป็นกระบวนการสร้างเครื่องมือในการปลูกชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ง่ายและไม่ซับซ้อน ต้นทุน ในการสร้างไม่สูงเหมาะสมสำหรับการปรับวิธีการเพื่อประยุกต์ทำงานวิจัยต่อไป

Ji-Tae Hong (2010) การสร้างเครื่องมือเคลื่อนแบบฉีดยุติขั้นโทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโวลตีอ้อม เป็นระบบสเปร์ยไฟฟ้าสถิต (ESS) และทำการทดลองด้วยวิธีการเคลื่อนด้วยระบบ ESS ควบคุมการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบ (ESS) ตั้งแต่ 5-10 kV ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนแต่ละตัวอย่างคือ 2, 4, 6 และ 8 นาที อัตราการฉีดยุติของหัวฉีดยุติมีค่า 5 มิลลิเมตร/ ชั่วโมง และตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างที่เคลื่อนด้วยกล้อง (CCD) นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเซลล์จะสามารถพิจารณาได้จากกราฟ I-V curve พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์ที่ได้จากวิธีสเปร์ยไฟฟ้าสถิต คือ 3.9 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีสเปร์ยธรรมดา ซึ่งได้เพียง 3.5 เปอร์เซ็นต์

Xue-Long He (2014) ได้ทำการเตรียมชั้นกระจังแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีประสิทธิภาพสูงด้วยวิธีการฉีดยุติด้วยความเย็นที่อุณหภูมิห้อง (RTCS) บนแผ่นรองรับพลาสติกที่โค้งงอได้ เขาทำการเปรียบเทียบกับวิธีการฉีดยุติแบบธรรมดาที่ไม่มีระบบสุญญากาศ ระบบฉีดยุติด้วยความเย็น พบว่าชั้นโทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้มีความคงทน สามารถกระจังแสงในชั้นดังกล่าวได้สูง ส่งผลให้โมเลกุลของสารโวลตีอ้อมไวแสงดูดกลืนแสงได้มากกว่าแบบฉีดยุติธรรมดา และสามารถเคลื่อนตามความหนาที่ต้องการได้ด้วยวิธี RTCS โดยช่วงความหนาที่เหมาะสมคือ 10 ถึง 15 ไมโครเมตร สามารถเปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 5.24 เปอร์เซ็นต์ มีการทดสอบบิต โค้งงอของเซลล์พบว่าประสิทธิภาพยังคงสูงคงที่เนื่องจากความคงทนของการยึดเกาะชั้นกระจังแสงโทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นวิธี RTCS จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโวลตีอ้อมไวแสง

Bing Hu. และ Baoshun Liu (2015) ได้ศึกษาทำการเตรียมอนุภาคทรงกลมโทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีรูพรุนสูงด้วยวิธีฉีดยุติแบบไฟฟ้าและอบไอน้ำหลังการเคลื่อนขั้นโทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโวลตีอ้อมไวแสง พบว่าอนุภาคที่เตรียมได้มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 600 นาโนเมตร มีลักษณะการกระจายแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นชั้นกระจังแสงในเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงสามารถดูดกลืนแสงได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพเซลล์สูงถึง 7.2 เปอร์เซ็นต์ สามารถดูดกลืนแสงมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงในช่วงความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์

Slamet Widodo, Goib Wirantoa และ Mirza Nur Hidayat (2015) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนท่อคาร์บอน (CNT) เพื่อเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโวลตีอ้อมไวแสงด้วยวิธีการฉีดยุติ โดยทำการฉีดยุติจำนวนรอบการฉีดยุติที่แตกต่างกัน 5 15 25 และ 55 รอบ

พบว่าชั้นนาโนคาร์บอนที่ได้มีลักษณะเป็นท่อขนาดเล็กระดับนาโน ซึ่งจะทำให้เกิดรูพรุนหรือพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ส่งผลให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้จำนวนมาก ส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงถึง 1.98 เปอร์เซนต์ สำหรับการฉีดพ่น 55 รอบ

Shuqing Huang, และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาการเคลือบท่อนาโนคาร์บอน (CNT) เพื่อเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงด้วยวิธีการฉีดพ่น เปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าแคโทดที่ทำมาจากแพลทินัม พบว่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้าแคโทดที่เคลือบด้วยวิธีฉีดพ่นนาโนคาร์บอน มีค่าต่ำได้ถึง 16 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร เทียบกับแพลทินัมซึ่งมีความต้านทานเท่ากับ 3 โอห์มต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งถือได้ว่าใกล้เคียงมาก และนอกจากนี้ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นพบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ขั้วไฟฟ้าแคโทดที่เคลือบด้วยวิธีฉีดพ่นนาโนคาร์บอนมีประสิทธิภาพสูงถึง 4.18 เปอร์เซนต์ ซึ่งเกือบเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดคือ 5.05 เปอร์เซนต์



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยโดยเริ่มทำการออกแบบและสร้างเครื่องฉีดพ่นสารผงอนุภาคระดับนาโนโดยออกแบบและสร้างให้มีความเหมาะสมสำหรับอัตราการเคลือบได้ จากนั้นนำสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ผสมด้วยตัวทำละลายจากน้ำปราศจากไอออน โพลีไวนิลแลกซีเตด (Polyvinylacetate, PVA) และสารประกอบไททาน X-100 (Trinton™ X-100) บรรจุในกระบอกฉีดพ่นของเครื่องที่สร้างขึ้น แล้วทำการเคลือบโดยออกแบบเงื่อนไข อัตราการเคลือบลงบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (FTO) เสร็จแล้วนำขั้วไฟฟ้าเวิร์คกิ้งที่เคลือบแล้วไปตรวจวัดสมบัติต่างๆ ดังนี้ สมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) สมบัติการสะท้อนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิตสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) วัดความหนาด้วยภาพถ่ายภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับก่อนนำไปแช่สารสีย้อมไวแสงมาตาฐาน (Dye N719) นำขั้วไฟฟ้าเวิร์คกิ้งที่แช่สารสีย้อมไวแสงมาตาฐาน (Dye N719) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำขั้วไฟฟ้าเวิร์คกิ้งที่มีสารสีย้อมไวแสงไปตรวจวัดสมบัติต่างๆ ดังนี้ สมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) สมบัติการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิตสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis spectrophotometer) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับก่อนนำไปประดิษฐ์เซลล์ต่อไป นำขั้วไฟฟ้าเวิร์คกิ้งที่มีสารสีย้อมไวแสงไปประกบกับขั้วไฟฟ้าเคาน์เตอร์ (Counter electrode) และฉีดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Liquid electrolyte) ก่อนนำไปวัดประสิทธิภาพเซลล์ นำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงไปวัดประสิทธิภาพ เซลล์ด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพมาตรฐานความเข้มแสง 100 mW/cm^2 (Air Mass 1.5, AM 1.5) สุดท้ายทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์จากผลที่ได้จากเงื่อนไขต่างๆ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย สามารถจำแนกเป็นส่วนๆ ของเครื่องมือพื้นฐาน เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ทางด้านเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

3.1.1 เครื่องมือพื้นฐาน

- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1. นาฬิกาจับเวลา | 12. ผ้าสำหรับเช็ดกระจก |
| 2. ท่อทองแดง | 13. กระจกทราย |
| 3. ปืนเป่าลม รุ่น DG-10 | 14. ถุงมือและผ้าปิดจมูก |
| 4. ข้อต่อทองเหลืองสามทาง | 15. ไดร้เป่าผม ปรับลมร้อน-เย็นได้ |
| 5. หัวฉีดไมโครสเปรย์ | 16. กระจกนำไฟฟ้า (FTO) |
| 6. ภาพขณะบรรจุสาร | 17. คอเซปสำหรับคืบชิ้นงาน |
| 7. ท่อพลาสติก | 18. แผ่นยางรองตัด |
| 8. ไม้บรรทัด | 19. สลิตล้างกระจก |
| 9. ไขเลื่อยโลหะ | 20. เครื่องพ่นแก๊สเชื่อมทองแดง |
| 10. ปากกาหัวเพชรตัดกระจก | 21. แก๊สออกซิเจน |
| 11. กล่องใส่กระจก | |

3.1.2 เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์

- | | |
|---|----------------------|
| 1. เครื่องอุลตราโซนิค ยี่ห้อ Branson 2510 | 6. แหล่งจ่ายไฟฟ้า |
| 2. เครื่องสปิน ยี่ห้อ Mikasa Spincoater | 7. กล้องดิจิทัล |
| 3. เครื่องตัดเหล็กไฟฟ้า | 8. เตาเผาอุณหภูมิสูง |
| 4. สายไฟ | 9. ตู้ดูดความชื้น |
| 5. มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล | 10. ตู้อบความร้อน |

3.1.3 อุปกรณ์ทางเคมี

1. เอทานอล
2. Titanium diisopropoxide bis ($C_{16}H_{28}O_6Ti$) ในปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร
3. Isopropanal ($(CH_3)_2CHOH$) ในปริมาณ 10 มิลลิลิตร
4. Titanium Dioxide paste PST-18NR (ขนาดอนุภาค 18 นาโนเมตร)
5. Titanium Dioxide P25 (ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร) ในปริมาณ 0.75 กรัม
6. เอทิลแอลกอฮอล์ (99.99 %) ในปริมาณ 100 มิลลิลิตร
7. สารละลายแพลทินัม (Platinum, Pt)
8. สารละลาย Dye sensitizer, N719

3.1.4 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

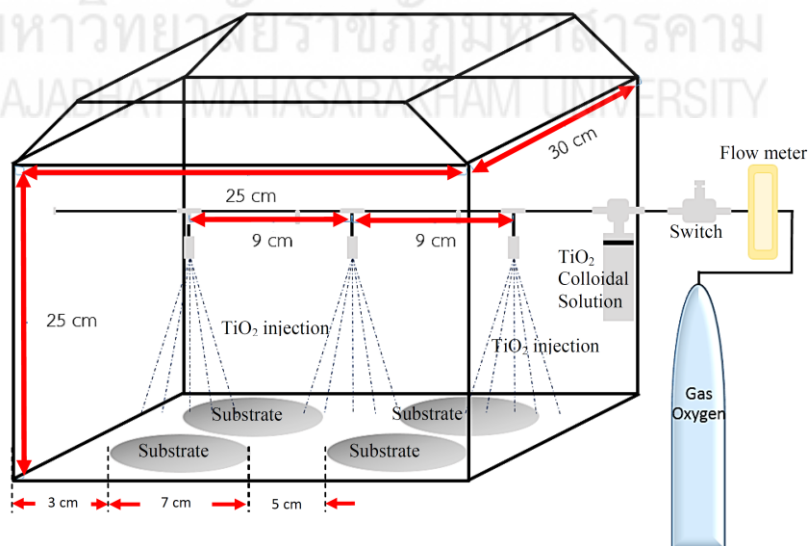
1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)
2. เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD)
3. เครื่องมือวิเคราะห์การส่องผ่านของแสง (UV-Vis spectrophotometer)
4. เครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐาน (Solar Simulator, AM 1.5, 100 mW/cm^2)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 ประดิษฐ์ เครื่องมือเคลือบแบบฉีดพ่นชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ภายใต้สนามไฟฟ้าและทดสอบความเร็วรอบของฐานจับแผ่นรองรับ

ขั้นที่ 1 ออกแบบและ ประดิษฐ์ เครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์

1. ศึกษาการสร้างเครื่องเคลือบแบบฉีดพ่น จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบเครื่องตามแบบของงานวิจัยที่ศึกษามาแล้ว และเปลี่ยนแปลงปรับปรุงเพิ่มเติม



รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมของเครื่องเคลือบแบบฉีดพ่นชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์

3. จัดหาอุปกรณ์ตามแบบที่ต้องการ
4. ทำการสร้างหรือประกอบเครื่องเคลื่อนตามที่ออกแบบไว้
5. ทดสอบเครื่องฉีดพ่นไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อศึกษาปริมาณและทิศทางของ TiO_2 ที่ถูกพ่นออกมา

ขั้นที่ 2 ทดสอบความเร็วรอบของฐานจับแผ่นรองรับ

1. ทดสอบความเร็วรอบของพัดลมระบายความร้อนพัดลมมีทั้งหมดมี 5 ตัว โดยพัดลมแต่ละตัวรับความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ดังนี้ ตัวที่ 1 (12 V, 0.12 A), ตัวที่ 2 (12 V, 0.12 A), ตัวที่ 3 (12 V, 0.11 A) และตัวที่ 4 (12 V, 0.11 A) ในแต่ละตัวจะทดสอบวัดความเร็วรอบที่ความต่างศักย์ 6 V, 9 V และ 12 V โดยแบ่งเป็น 2 ชุดทดสอบ คือ วัดขณะที่ติดแผ่นรองรับกับพัดลม และไม่ติดแผ่นรองรับ
2. บันทึกผลลงในรูปแบบตาราง
3. นำตารางที่ได้จากการวัดแบบติดแผ่นรองรับมาหาค่าเฉลี่ยแล้ว เขียนกราฟระหว่างความเร็วรอบกับความต่างศักย์ไฟฟ้า

ตอนที่ 2 หาเงื่อนไขการเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม

ขั้นที่ 1 เตรียมกระจกนำไฟฟ้า (FTO)

1. ทำการตัดกระจกนำไฟฟ้า (FTO) ขนาด 1.5×7.5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 10 แผ่นนำกระจกนำไฟฟ้า ขนาด 1.5×7.5 ตารางเซนติเมตรที่ตัดเตรียมทำเซลล์วางในสล็อตล่างกระจกใส่น้ำให้ท่วมกระจกแล้วหยดน้ำยาล้างจานลงในสล็อตล่างกระจกนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิก (ultrasonic) เป็นเวลา 15 นาทีแล้วล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาดโดยให้น้ำไหลผ่านกระจกจนไม่เหลือคราบของน้ำยาล้างจานจากนั้นเทน้ำออกจนหมดเทน้ำเปล่าลงในสล็อตล่างกระจก แล้วนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาที แล้วเทน้ำเปล่าออกจนหมด เทน้ำปราศจากไอออน (น้ำ DI) ลงในสล็อตล่างกระจก แล้วนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นเวลา 15 นาทีเทน้ำปราศจากไอออน (Dioniz water) ออกจนหมด สูดท้ายเทสารเอทานอลจนท่วมกระจก แล้วนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาทีแล้วเทสารเอทานอลออกจนหมด คีบกระจกขึ้นมาทีละชิ้นทำการเป่าแห้งด้วยไดร์เป่าผมและเก็บไว้ในกล่องนำกระจกนำไฟฟ้า (FTO) ที่ล้างแล้ว ตัดเป็น 4 ส่วนด้วยปากกาหัวเพชร จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดดังรูปที่ 3.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 แสดงการเตรียมกระจกนำไฟฟ้า (FTO)

(ก) นำกระจกนำไฟฟ้า (FTO) ลงในสล็อตล่างกระจก

(ข) นำไปล้างด้วยการสั่นในเครื่องอุตราโซนิก (Ultrasonic)

ขั้นที่ 2 การเคลือบชั้น blocking layer TiO_2 ด้วยเทคนิคสปิน (spin coating)

1. นำสาร Titanium diisopropoxide bis ($\text{C}_{16}\text{H}_{28}\text{O}_6\text{Ti}$) 0.5 มิลลิลิตรผสมกับ isopropanol ($(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$) 10 มิลลิลิตรแล้วนำไปสั่นด้วยเครื่องอุตราโซนิก 20 นาที

2. นำกระจกนำไฟฟ้าที่ล้างแล้วมาติดเทปสำหรับมาร์คกิ้ง (kapton tape) ที่ริมของขอบด้านใดด้านหนึ่งของกระจกนำไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับทำเป็นขั้วนำไฟฟ้าง่ายรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงกระจกนำไฟฟ้าที่ติดเทปสำหรับมาร์คกิ้ง (Kapton tape) เพื่อใช้ในการทำเป็นขั้วไฟฟ้า

3. นำสารละลายที่ได้จากข้อที่ 1 มาหยดลงบนกระจกนำไฟฟ้าให้ทั่วทั้งแผ่นและทำการสปินด้วยเครื่องสปิน (spin coating) เพื่อให้สารละลายกระจายทั่วกระจกอย่างสม่ำเสมอ โดยตั้งค่าเครื่องสปินเป็นสองขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือ ขั้นตอนที่ 1 หมุนด้วยความเร็ว 1000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 วินาที ขั้นตอนที่ 2 หมุนด้วยความเร็ว 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 วินาที ดังรูปที่ 3.4



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 แสดงการเคลือบ blocking layer ด้วย TiO_2

(ก) หยดสารจากข้อที่

1 ลงบนกระจกนำไฟฟ้า (FTO)

(ข) ทำการสปินด้วยเครื่อง

Spin coating

4. หลังจากที่ทำกรสปินเสร็จให้ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วก็นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องและทำการเคลือบอีก 2 ชั้น ตามข้อ 3

5. หลังจากเคลือบชั้น blocking layer เสร็จทำการดึงเทปออกเพื่อที่จะนำไปเคลือบชั้น TiO_2 ด้วยเทคนิคสกรีน (screen print) ต่อไป ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการดึงเทปสำหรับมาร์คกิ้ง (kapton tape) ออก

ขั้นที่ 3 การเคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสกรีน (Screen print)

- นำกระจกที่ผ่านการเคลือบ blocking layer มาใส่ในช่องของบล็อกสกรีน (block screen) ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการใส่กระจกนำไฟฟ้าในช่องบล็อกสกรีน (block screen)

- ทำการสกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ (PST-18NR : ขนาดอนุภาค 18 นาโนเมตร) ตรงบริเวณพื้นที่ที่เราต้องการจะเคลือบจากนั้นปาดไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อยู่บนบล็อก แล้ววางทับบนกระจกนำไฟฟ้า และปาดไทเทเนียมไดออกไซด์ซ้ำอีกครั้งแล้วทิ้งฟิล์มให้แห้งเป็นเวลา 15 นาที ดังรูปที่ 3.7



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.7 แสดงการสกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์

(ก) เทไท

เทเนียมไดออกไซด์ลงบล็อก

(ข) ทำการสกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์

3. นำฟิล์มที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำตามข้อ 2 และข้อ 3 อีก 4 รอบ จะได้ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้งหมด 5 ชั้น

4. เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดและปราศจากความชื้น



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างที่ทำการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสกรีน

(ก) ตัวอย่างก่อนเผาที่ทำการเคลือบด้วยเทคนิคสกรีน

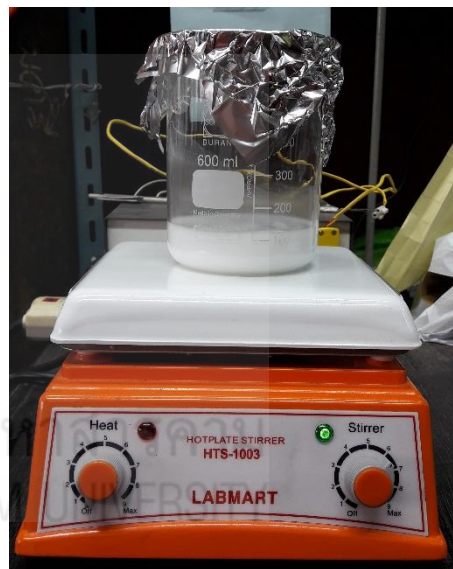
(ข) ตัวอย่างหลังเผาที่ทำการเคลือบด้วยเทคนิคสกรีน

ขั้นที่ 4 การเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับฉีดยึดพ่น เพื่อทำชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยเริ่มจากการนำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรมาชั่งด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล ความละเอียดสูง (ทศนิยมสี่ตำแหน่ง) ให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการคือ 0.7547 กรัม นำสารที่ชั่งมาผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์ (99.99 %) ในปริมาณ 100 มิลลิลิตร นำไปคนสารด้วยเครื่องกวนสารละลาย โดยอาศัยแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ที่ความเร็วระดับ 6 เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นก็จะได้สารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ (มีความเข้มข้น 0.75 % โดยน้ำหนัก) เก็บไว้ในขวดแก้ว เพื่อทำการเคลือบต่อไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 แสดงการเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์

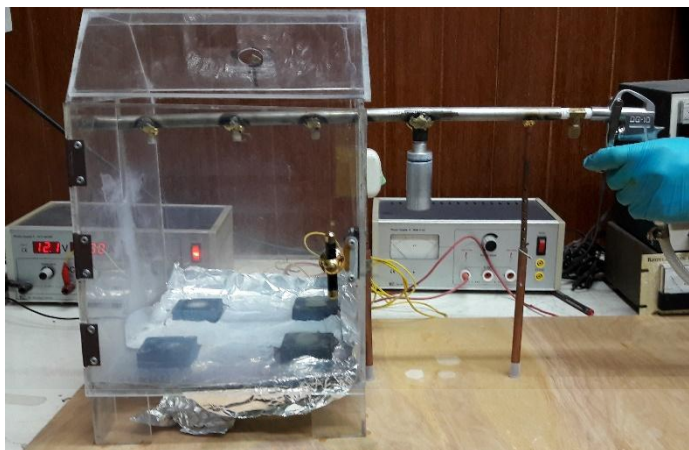
(ก) ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ (Degussa P25)

(ข) การเตรียมสารละลายคอลลอยด์ไทเทเนียมไดออกไซด์

ขั้นที่ 5 การเคลือบชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการฉีดยึดพ่น (spray coating)

1. ทำการเคลือบชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนแผ่นกระจกนำไฟฟ้าด้วยวิธีการฉีดยึดพ่นตามเงื่อนไขการเคลือบชั้นกระจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการฉีดยึดพ่นที่อุณหภูมิห้อง ดังตารางที่ 10.1 โดยให้ฐานวางแผ่นกระจกนำไฟฟ้าหมุนขณะทำการฉีดยึดพ่น

พ่น โดยทุกตัวอย่างควบคุมการกดฉีดครั้งละ 2 วินาที อัตราการฉีดพ่นที่ 4 ลิตรต่อนาที เมื่อทำการเคลือบด้วยวิธีการฉีดพ่นเสร็จจะพัก 10 นาที เพื่อให้อนุภาคไททาเนียมตกลงบนกระจกที่ต้องการเคลือบ



รูปที่ 3.10 แสดงการฉีดพ่นชั้นกระเจิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์

2. นำตัวอย่างที่เคลือบชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์แล้วไปเผา (sinter) ที่อุณหภูมิ 450 - 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.11 แสดงการนำตัวอย่างไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง

3. เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดและปราศจากความชื้น



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างที่ทำการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสเปรย์

(ก) ตัวอย่างก่อนเผาที่ทำการเคลือบด้วยเทคนิคสเปรย์

(ข) ตัวอย่างหลังเผาที่ทำการเคลือบด้วยเทคนิคสเปรย์

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการเคลือบชั้นกระจังแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการฉีดพ่นที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	ตัวแปรควบคุม			จำนวนการกดฉีดพ่น (ครั้ง)
	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)	ความเร็ว (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (°C)	
T001	4	3000-4000	25	5
T002				10
T003				15
T004				20

ขั้นที่ 6 วิเคราะห์เพื่อหาเงื่อนไขการเคลือบชั้นกระจังแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม

- นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางสัณฐาน และความหนาของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วย สมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) สมบัติการสะท้อนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิตสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis

spectrophotometer) วัดความหนาด้วยภาพถ่ายภาคตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ขั้นที่ 7 การทำขั้วแคโทด

1. ทำการตัดกระจกนำไฟฟ้า (FTO) ขนาด 1.5×7.5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 10 แผ่น นำกระจกนำไฟฟ้าขนาด 1.5×7.5 ตารางเซนติเมตรที่ตัดเตรียมทำเซลล์วางในสล็อตล้างกระจกใส่น้ำให้ท่วมกระจกแล้วหยดน้ำยาล้างจานลงในสล็อตล้างกระจกนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาทีแล้วล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาดโดยให้น้ำไหลผ่านกระจกจนไม่เหลือคราบของน้ำยาล้างจานจากนั้นเทน้ำออกจนหมด เทน้ำเปล่าลงในสล็อตล้างกระจก แล้วนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที แล้วเทน้ำเปล่าออกจนหมด เทน้ำปราศจากไอออน (น้ำ DI) ลงในสล็อตล้างกระจก แล้วนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาทีเทน้ำปราศจากไอออน (Dioniz water) ออกจนหมด สุดท้ายเทสารเอทานอลจนท่วมกระจก แล้วนำไปสั่นในเครื่องอุตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที แล้วเทสารเอทานอลออกจนหมด คีบกระจกขึ้นมาทีละชิ้น ทำการเป่าแห้งด้วยไดร์เป่าผมและเก็บไว้ในกล่องนำกระจกนำไฟฟ้าที่ล้างแล้ว ตัดเป็น 4 ส่วน ด้วยปากกาหัวเพชร จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะที่สะอาดดังรูปที่ 3.13



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 แสดงการเตรียมกระจกนำไฟฟ้า

(ก) นำกระจกนำไฟฟ้าลงในสล็อตล้างกระจก

(ข) นำไปล้างด้วยการสั่นในเครื่องอุตราโซนิก

2. นำกระจกนำไฟฟ้าที่ล้างแล้วมาติดเทปสำหรับมาร์คกึ่งที่ริมของขอบด้านใดด้านหนึ่งของกระจกนำไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับทำเป็นขั้วนำไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงกระจกนำไฟฟ้าที่ติดเทปสำหรับมาร์คกึ่งเพื่อใช้ในการทำเป็นขั้วไฟฟ้า

3. นำสารละลายแพลทินัม (Platinum, Pt) หยดลงบนกระจกนำไฟฟ้าให้ทั่วทั้งพื้นที่ จากนั้นทำการเคลือบด้วยเทคนิคสปิน (spin coating) โดยตั้งค่าเครื่องสปินเป็นสองขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือ ขั้นตอนที่ 1 หมุนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 วินาทีขั้นตอนที่ 2 หมุนด้วยความเร็ว 1000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 60 วินาที



รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างก่อนเผาที่ทำการเคลือบแพลทินัม (Platinum, Pt) ด้วยเทคนิคสปิน

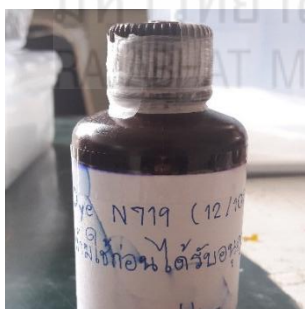
4. นำกระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วย Pt ไปเผาที่อุณหภูมิ 450 - 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง รอให้อุณหภูมิเย็นลงที่อุณหภูมิห้องก็จะได้ขั้วแคโทดที่พร้อมใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์



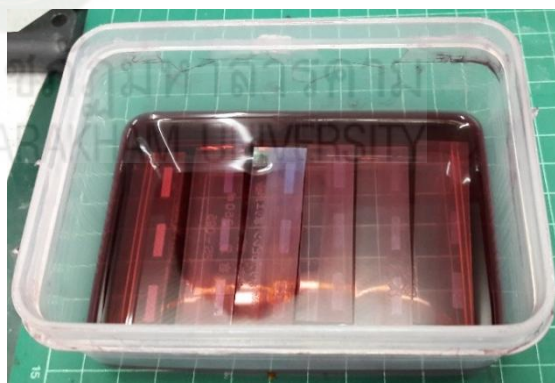
รูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่างหลังเผาที่ทำการเคลือบแพลทินัม (Platinum, Pt) ด้วยเทคนิคสปิน

ขั้นที่ 8 การแช่สารสีย้อมไวแสง (Dye sensitizer immersion)

- นำชิ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เผาเสร็จแล้วมาแช่ในสารละลาย (Di-tetrabutylammonium cis-bis(isothiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato) Ruthenium (II), Dye N719) ความเข้มข้น 0.0356 กรัม ในสาร Acetonitrile และ Butands ในอัตราส่วน 50/50 โดยปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



(ก)



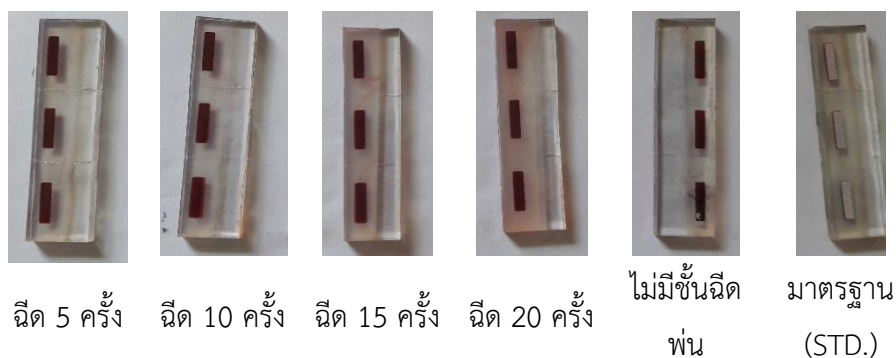
(ข)

รูปที่ 3.17 แสดงการแช่ชิ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในสารละลาย Dye ชนิด N719

(ก) สารละลาย Dye ชนิด N719

(ข) แช่ชิ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในสารละลาย Dye ชนิด N719

2. หลังจากแช่ครบ 24 ชั่วโมงแล้ว เราจะนำฟิล์มมาล้างด้วยเอทานอล เพื่อให้เม็ดสีที่เกาะไม่แน่นนั้นหลุดออกและพร้อมที่จะประกอบเซลล์

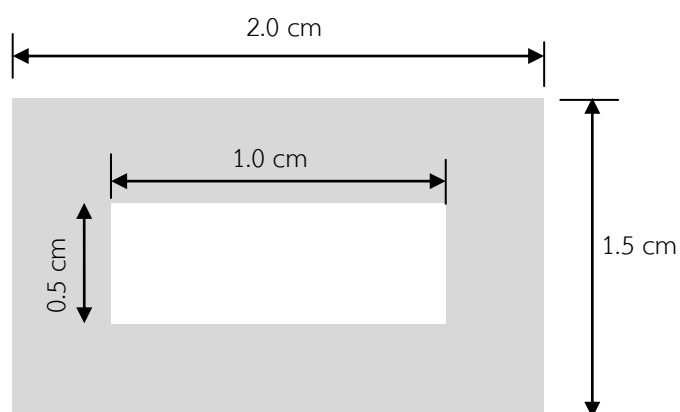


รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างหลังแช่ชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ลงในสารละลาย Dye ชนิด N719

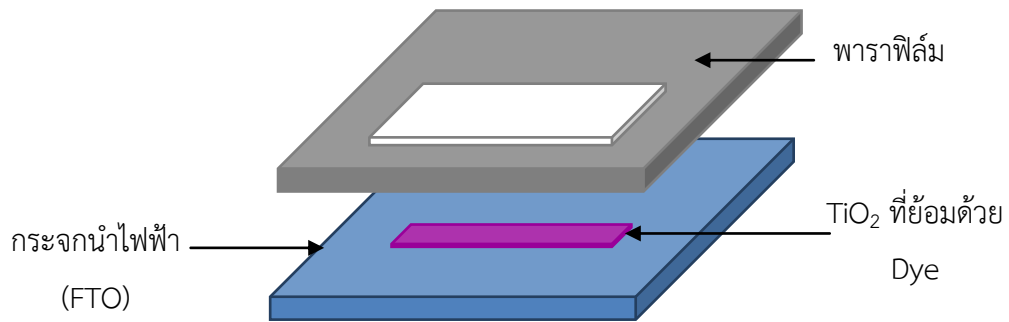
ตอนที่ 3 การประกอบเซลล์และการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นที่ 1 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์

1. ตัดแผ่นพาราฟิล์มให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.5 x 2 ตารางเซนติเมตรและตัดช่องตรงกลางขนาด 0.5 x 1 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.19 และนำไปวางไว้บนขั้วเวิร์คคิง โดยให้ช่องว่างตรงกลางของพาราฟิล์มตรงกับช่องของฟิล์ม TiO_2 ที่สกรีนไว้ ดังรูปที่ 3.20

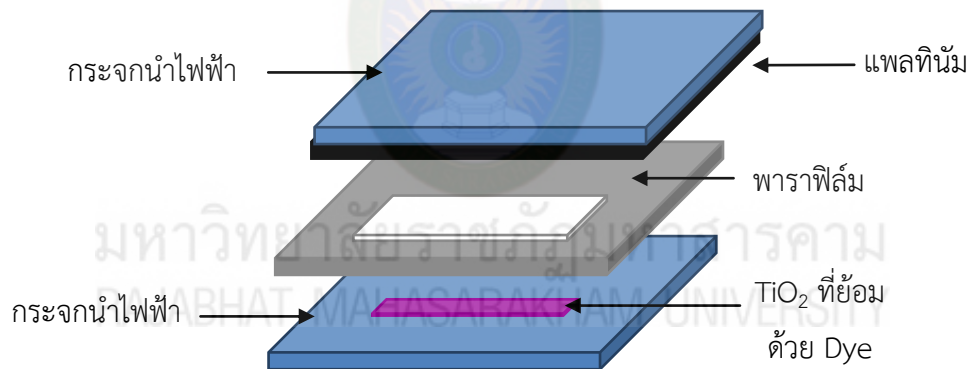


รูปที่ 3.19 แสดงขนาดของพาราฟิล์ม



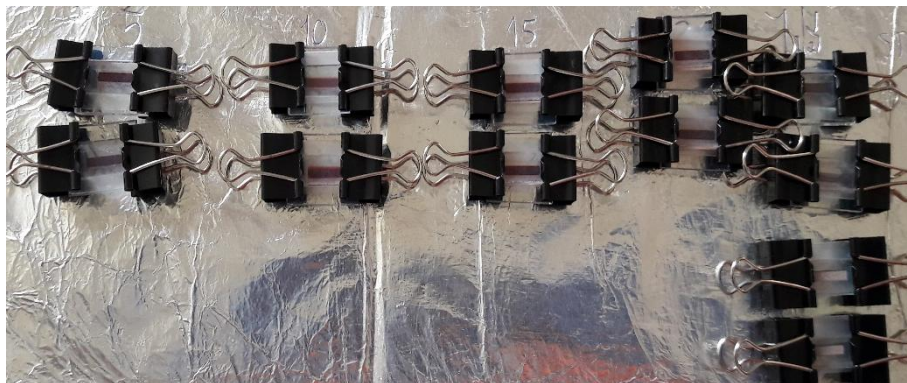
รูปที่ 3.20 แสดงการนำพาราฟิล์มไปวางบนขั้วเวิร์คกิ้ง

2. นำขั้วไฟฟ้าเวิร์คกิ้งอิเล็กโทรดและขั้วไฟฟ้า เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดมาประกบเยื้องกันโดยให้แผ่นพาราฟิล์มคั่นกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าเวิร์คกิ้งอิเล็กโทรด และขั้วไฟฟ้า เคาน์เตอร์อิเล็กโทรดโดยให้ช่องว่างตรงกลางของแผ่นพาราฟิล์มตรงกับชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบไว้ ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงเซลล์ที่ประกบเรียบร้อยแล้ว

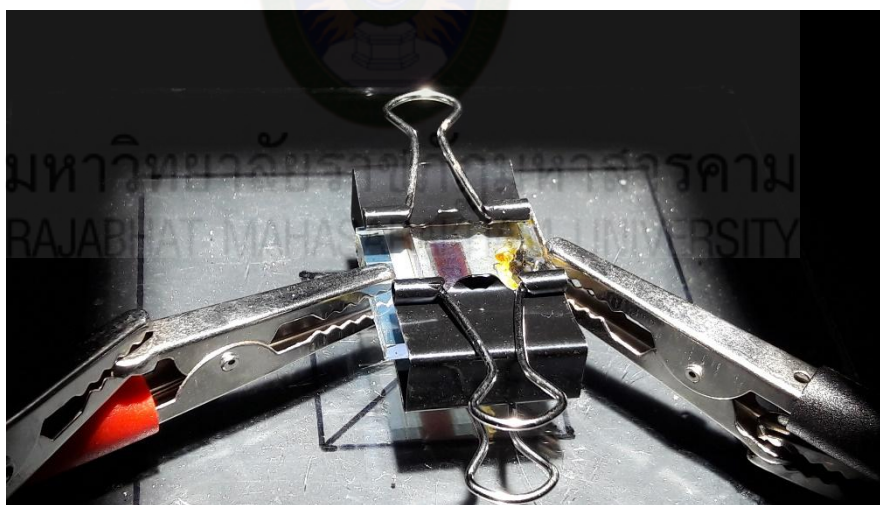
3. ใช้คลิปหนีบเซลล์ไว้ข้างหนึ่งก่อน จากนั้นให้แฉกกระจกออกนิดหน่อยแล้วฉีดสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้าไปในเซลล์ จนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปจนเต็มช่องตรงกลางของแผ่นพาราฟิล์มที่เปิดไว้ โดยไม่ให้มีช่องว่างเหลืออยู่แล้วปิดกระจกตามเดิมใช้คลิปมาหนีบเซลล์อีกข้าง เพื่อไม่ให้อิเล็กโทรไลต์ไหลออกมา ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ขั้นที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

1. นำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบเซลล์แสงอาทิตย์เสร็จแล้วไปทำการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐาน (Solar Simulator, AM 1.5, 100 mW/cm²)



รูปที่ 3.23 แสดงการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

2. นำผลของประสิทธิภาพที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับชั้นกระจกแสงไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง