บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบมาส์กและอุปกรณ์สำหรับพิมพ์สกรีน

กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีน (Screen Printing Technique) เพื่อสร้างฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์และแพลทตินัม โดยการสกรีนลงบนฐานรองซึ่งเป็นกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent Conducting Oxide) SnO_2:F เพื่อนำไปใช้งานเป็นโฟโตอิเล็กโทรดและเคาท์เตอร์อิเล็กโทรด ตามลำดับ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องออกแบบมาส์กเพื่อนำไปถ่ายแบบลงบนแม่พิมพ์สกรีนซึ่งเป็นต้นแบบในการสร้างลวดลายลงบนกระจกขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสง และนำไปสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

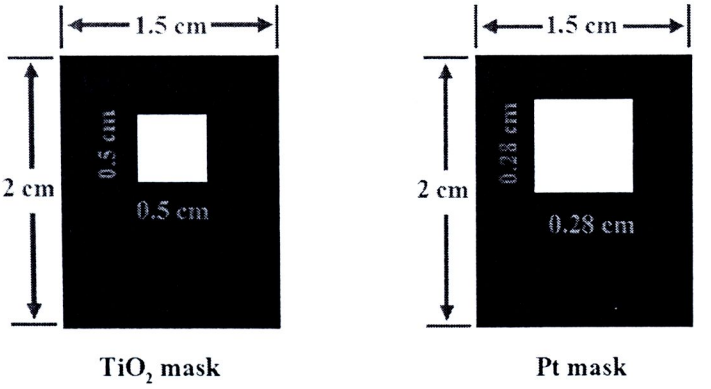
2.1.1 การออกแบบลวดลายมาส์กของ TiO_2 และ Pt

การออกแบบลวดลาย ถือว่าเป็นขั้นตอนแรกในการสร้างแม่แบบมาส์ก เพื่อจัดวางตำแหน่งของลวดลายให้ถูกต้อง และลวดลายที่ได้ให้มีความเหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ของฐานรอง แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยฐานรองจะมีขนาด 1.5x2 cm^2 มีพื้นที่มาส์กของไทเทเนียมไดออกไซด์เท่ากับ 0.25 cm^2 และแพลทตินัม เท่ากับ 0.56 cm^2

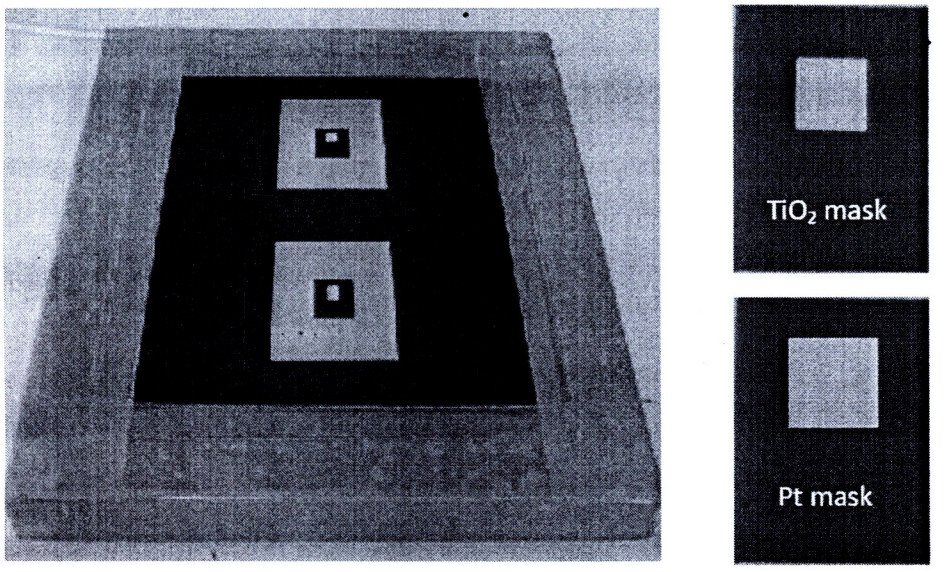
2.1.2 การถ่ายแบบลวดลายมาส์กของ TiO_2 และ Pt ลงบนแม่พิมพ์ต้นแบบ

หลังจากที่ได้ออกแบบลวดลายมาส์กของไทเทเนียมไดออกไซด์และแพลทตินัมแล้วจึงนำไปถ่ายแบบลงบนแม่พิมพ์ต้นแบบ ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ว่าจ้างบริษัท วินโก้สกรีน จำกัด สร้างแม่พิมพ์ต้นแบบจนได้เป็นบล็อกพิมพ์สกรีนที่พร้อมใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.2

การสร้างชิ้นงานหากเป็นมาส์กของไทเทเนียมไดออกไซด์จะใช้ผ้าสกรีนชนิดโพลีเอสเตอร์ เบอร์ผ้าสกรีน 61T mesh/cm เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นด้าย 60 μm รูเปิดของผ้าสกรีน 102 μm สัดส่วนของพื้นที่รูเปิดของผ้าสกรีน 38.7% ความหนาของผ้าสกรีน 100 μm ปริมาตรหมึกพิมพ์ที่ใช้ต่อพื้นที่ 38.7 $cm3/m^2$



รูปที่ 2.1 *ต้นแบบลวดลายมาส์กของ TiO_2 และ Pt*



รูปที่ 2.2 *บล็อกพิมพ์สกรีนแม่พิมพ์ต้นแบบของ TiO_2 และ Pt*

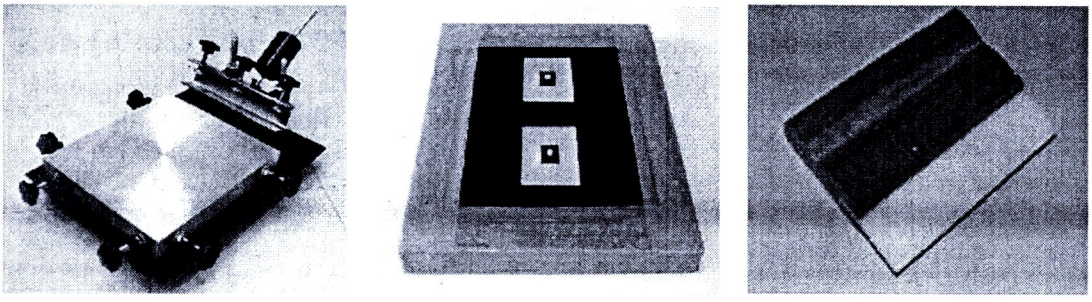
การสร้างชิ้นงานหากเป็นมาส์กของแพลททินัมจะใช้ผ้าสกรีนชนิดโพลีเอสเตอร์ เบอร์ผ้าสกรีน 90T mesh/cm เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นด้าย 40 μm รูเปิดของผ้าสกรีน 68 μm สัดส่วนของพื้นที่รูเปิดของผ้าสกรีน 38% ความหนาของผ้าสกรีน 62 μm ปริมาตรหมึกพิมพ์ที่ใช้ต่อพื้นที่ 24 cm^3/m^2 นอกจากนี้แล้วกาวอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปของแม่พิมพ์เป็นชนิด Ulano TZ ซึ่งมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและแรงเสียดสีได้เป็นอย่างดี

2.1.3 อุปกรณ์สำหรับการพิมพ์สกรีน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์สกรีนจะประกอบไปด้วย

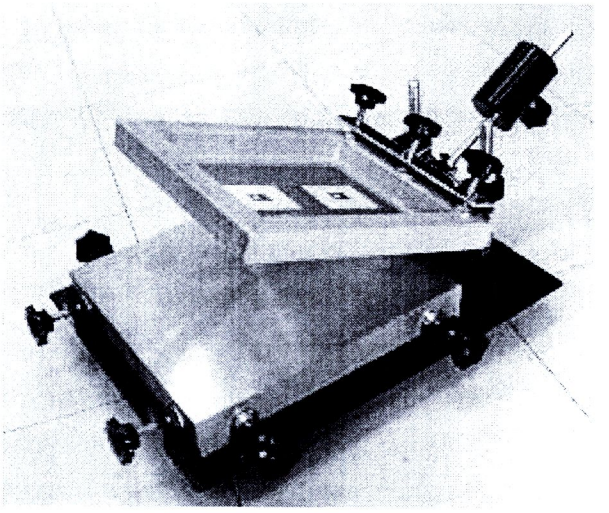
1. *แท่นพิมพ์สกรีน (Screen printing table)* มีหัวจับกรอบสกรีนเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกัน สามารถปรับความสูงต่ำได้ตามความหนาของชิ้นงานที่พิมพ์ มีตุ้มน้ำหนักถ่วงกรอบสกรีนเพื่อความสะดวกในการพิมพ์ และที่ฐานของแท่นสกรีนสามารถปรับตำแหน่งทิศทางแกน X และแกน Y ได้ เพื่อให้ชิ้นงานที่พิมพ์ตรงกับตำแหน่งของแม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ก)
2. *บล็อกพิมพ์สกรีน (Screen printing block)* เป็นส่วนประกอบของแม่พิมพ์สกรีนที่ได้ออกแบบลวดลายเอาไว้ มีหน้าที่ให้หมึกผ่านไปยังวัสดุที่ต้องการพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ข)
3. *ยางปาด (squeegee)* เป็นอุปกรณ์ผิวเรียบที่จะพาหมึกพิมพ์ในแม่พิมพ์สกรีนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยที่หมึกจะได้รับแรงกดจากยางปาดให้ผ่านผ้าสกรีนลงไปวัสดุที่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ค)

หลังจากนั้นนำบล็อกพิมพ์สกรีนมาติดตั้งกับแท่นพิมพ์สกรีน แสดงดังรูปที่ 2.4 นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่นร่วมด้วยคือหมึกพิมพ์สกรีน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์และแพลทินัมที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับหมึกพิมพ์สกรีน คือมีความหนืดที่เหมาะสมเพื่อใช้ร่วมกับเทคนิคการพิมพ์สกรีนได้เป็นอย่างดี ส่วนขั้นตอนการทดลองผสมสารตั้งต้นไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล นั้นจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.3 *อุปกรณ์สำหรับพิมพ์สกรีน (ก) แท่นพิมพ์สกรีน (ข) บล็อกพิมพ์สกรีน และ (ค) ยางปาด*



รูปที่ 2.4 บล็อกพิมพ์สกรีนติดตั้งเข้ากับแท่นพิมพ์สกรีน

2.2 กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีหลักการทำงาน โดยอาศัยกลไกทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี มีโครงสร้างประกอบด้วยกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง (FTO glass), ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล (TiO_2 sol-gel), สีย้อมไวแสงชนิด N719 (Sensitizer ruthenium N719), แพลทินัมโซล-เจล (Pt sol-gel), แผ่นซิลด์ (Sealant sheet), สารละลายอิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte solution)

2.2.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต (Photo electrode)

นำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ขนาด 1.5×2 cm^2 หนา 4 mm ไปทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่อาจเป็นฝุ่นละออง เศษโลหะ หรือคราบไขมันต่างๆ ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า โดยจุ่มในสารละลายอะซีโตน (Acetone) ต่อด้วยสารละลายเอทานอล (Ethanol Absolute) นำไปอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ใช้เวลาขั้นตอนละ10 นาที แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ต่อจากนั้นนำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วไปเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์โดยเทคนิคการพิมพ์สกรีน (Screen Printing Technique)

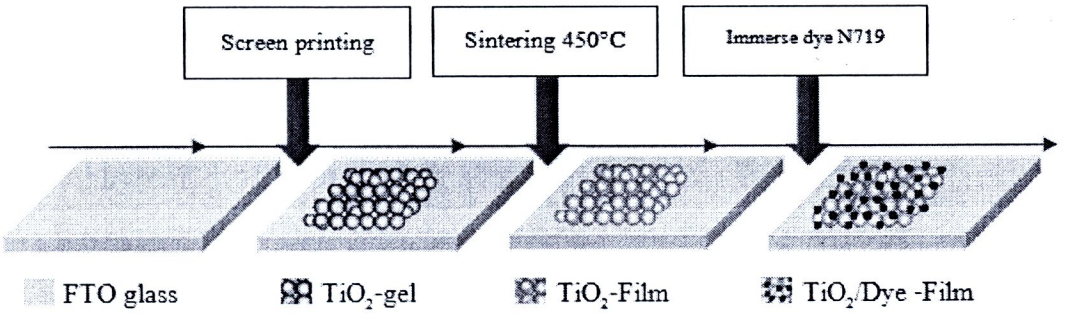
โดยพื้นที่เซลล์ในการพิมพ์สกรีนอยู่ที่ 0.25 cm^2 ถ้าหากต้องการเพิ่มความหนาของชั้นฟิล์มสามารถทำได้โดยการพิมพ์สกรีนเพิ่มที่ละชั้นตามลำดับจนได้ความหนาที่ต้องการ หลังการพิมพ์สกรีนแต่ละชั้นต้องนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 3 นาที หลังการพิมพ์สกรีนชั้นสุดท้ายจะอบที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดตัวทำละลายให้หมดไป และทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงจนอุณหภูมิอยู่ในช่วง (50~60)°C แล้วนำฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ไปจุ่มในสารละลายสีย้อมไวแสง N719 ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลายเอทานอลในอัตราส่วน (1:1)

โดยจุ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ดูดซับสีย้อมไวแสงมาอบความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อไล่ความชื้นออกจากฟิล์ม และเก็บในที่สะอาดเพื่อรอการประกอบเป็นเซลล์ต่อไป ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโตแสดงดังรูปที่ 2.5

2.2.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาท์เตอร์ (Counter electrode)

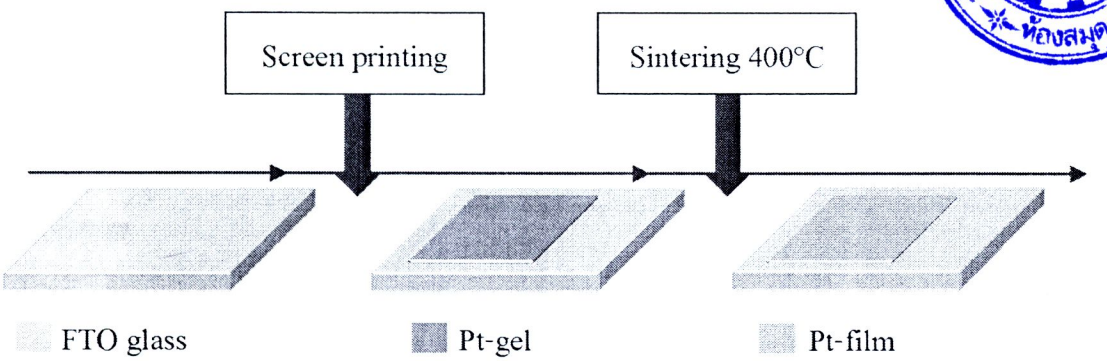
การเตรียมขั้ว ไฟฟ้าเคาท์เตอร์ ก็ใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีนเช่นเดียวกันกับการเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต โดยนำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง ขนาด 1.5×2 cm^2 หนา 4 mm ไปทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่อาจเป็นฝุ่นละออง เศษโลหะ หรือคราบไขมันต่างๆ ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า โดยจุ่มในสารละลายอะซีโตนต่อด้วยสารละลายเอทานอล นำไปอัลตราโซนิคใช้เวลาขั้นตอนละ10 นาที แล้วเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน ต่อจากนั้นนำกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วไปเคลือบฟิล์มแพลททินัม

โดยพื้นที่เซลล์ในการพิมพ์สกรีนอยู่ที่ 0.56 cm^2 ซึ่งจะใหญ่กว่าหรือกว้างกว่าพื้นที่เซลล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ (เนื่องมาจากขั้นตอนการประกอบเซลล์ โดยพื้นที่เซลล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์และแพลททินัมจะต้องประกบกันพอดี การที่จะประกบได้นั้นจำเป็นต้องทำให้พื้นที่เซลล์ของแพลททินัมใหญ่กว่าพื้นที่เซลล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ เพราะว่าหลังจากการเคลือบแพลททินัมแล้วจะมีลักษณะใสทำให้การมองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นไปได้ยาก) จากนั้นนำสารประกอบของแพลททินัม (Hexachloro platonic acid) มาเคลือบบนกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที และเผาต่อที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 20 นาทีตามลำดับ หลังจาก 20 นาทีแล้วก็ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง และนำไปประกอบเป็นเซลล์ต่อไป ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาท์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าโฟโต (Photo electrode)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



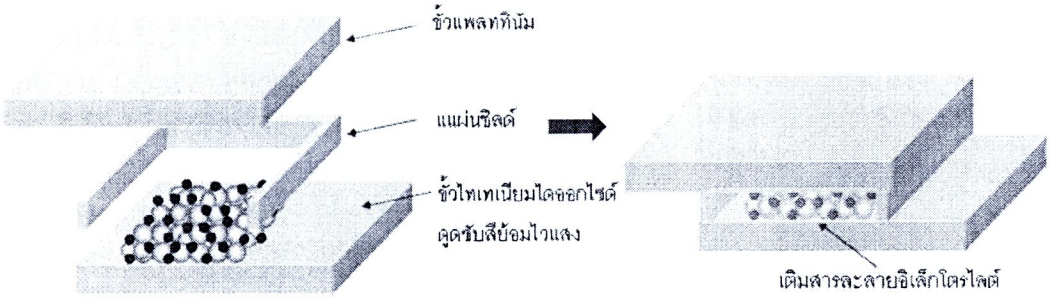
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเตรียมขั้วไฟฟ้าเคาท์เตอร์ (Counter electrode)

2.2.3 การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

การประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เริ่มต้นจากนำกระจกนำไฟฟ้าขั้วไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ดูดซับสีย้อมไวแสงมาประกบกับกระจกนำไฟฟ้าขั้วแพลทินัม แสดงดังรูปที่ 2.7 (ก) โดยให้พื้นที่เซลล์ของแผ่นกระจกนำไฟฟ้าทั้งสองตรงกัน ซึ่งจะคั่นกลางระหว่างกระจกทั้งสองด้วยแผ่นซิลด์ (SX 1170-60) ซึ่งมีความหนา 60 μm พื้นที่ช่องว่างของตัวแผ่นซิลด์จะใหญ่กว่าพื้นที่เซลล์ด้านละประมาณ 1 mm หลังจากประกอบเซลล์เสร็จแล้ว จะใช้หัวแร้งเป็นตัวให้ความร้อนเพื่อให้แผ่นซิลด์ละลายกลายเป็นกาวยึดติดกระจกนำไฟฟ้าทั้งสองเข้าไว้ด้วยกัน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ที่ 100~120 °C ต่อจากนั้นเติมสารละลายอิเล็กโตรไลต์เข้าไปในช่องว่างระหว่างแผ่นกระจกนำไฟฟ้าระหว่างพื้นที่เซลล์ทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 2.7 (ข) และปิดทับช่องว่างด้วยซิลิโคลนเพื่อลดการระเหยของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ก็จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่เสร็จสมบูรณ์ จากนั้นจะนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

การทดลองของกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยเทคนิคการพิมพ์สกรีนได้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง แต่ละการทดลองได้ศึกษาตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเริ่มจากการทดลองที่ 1 และ 2 ได้ศึกษาความหนาของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากเทคนิคการพิมพ์สกรีนและคุณสมบัติการดูดซับโมเลกุลสีย้อมไวแสงของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์จากสองแหล่งที่มาคือ NECTEC และ Solaronix ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองถัดไป

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 23 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 250179
เลขเรียกหนังสือ

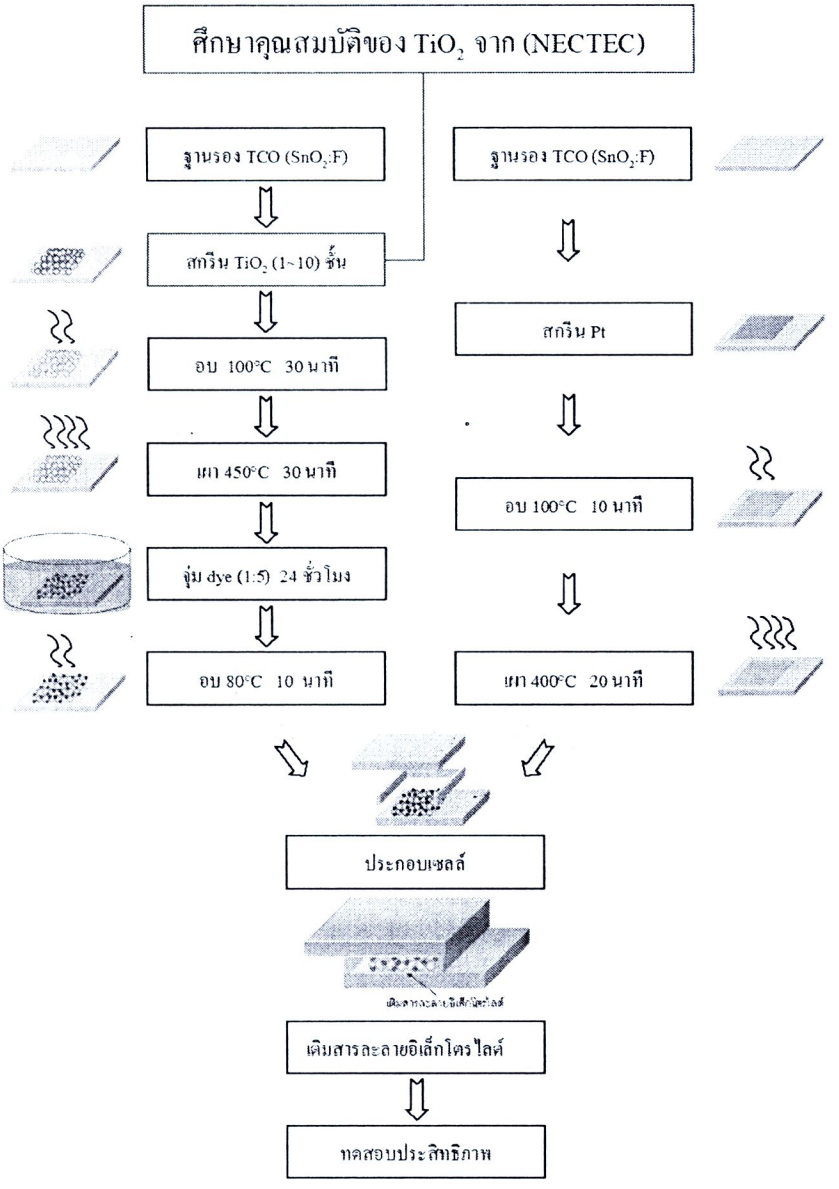


รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

ส่วนการทดลองที่ 3 ได้ศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง (Dye) ชนิด (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) เพื่อต้องการทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และการทดลองที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิของการอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์หลังจากการพิมพ์สกรีน เพื่อไล่ความชื้นและลดปัญหารอยแตกร้าวของฟิล์มที่เกิดจากการนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง

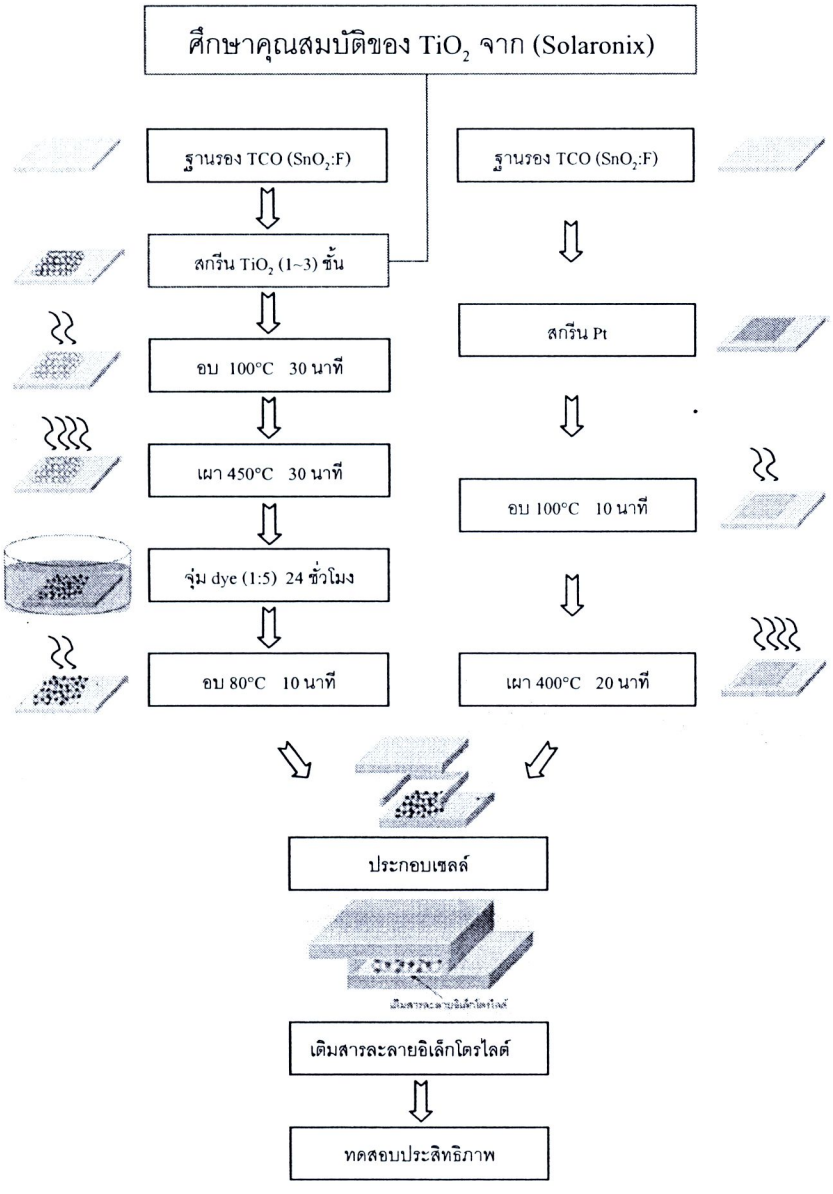
ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยใช้สารเคมีสำเร็จรูปพร้อมใช้งานจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NECTEC) ประกอบด้วย ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล สารละลายอิเล็กโตรไลต์ และแพลทตินัม โซล-เจล นอกเหนือจากนั้น ก็จะมีไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล, สีย้อมไวแสง (N719), แผ่นซีลด์ (Sealant sheet), จากบริษัท Solaronix

การทดลองที่ 1 โดยสกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนฐานรอง TCO ความหนา (1~10) ชั้น เพื่อต้องการทราบคุณสมบัติของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และความหนาของฟิล์มต่อการดูดซับโมเลกุลสีย้อมไวแสง ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.8



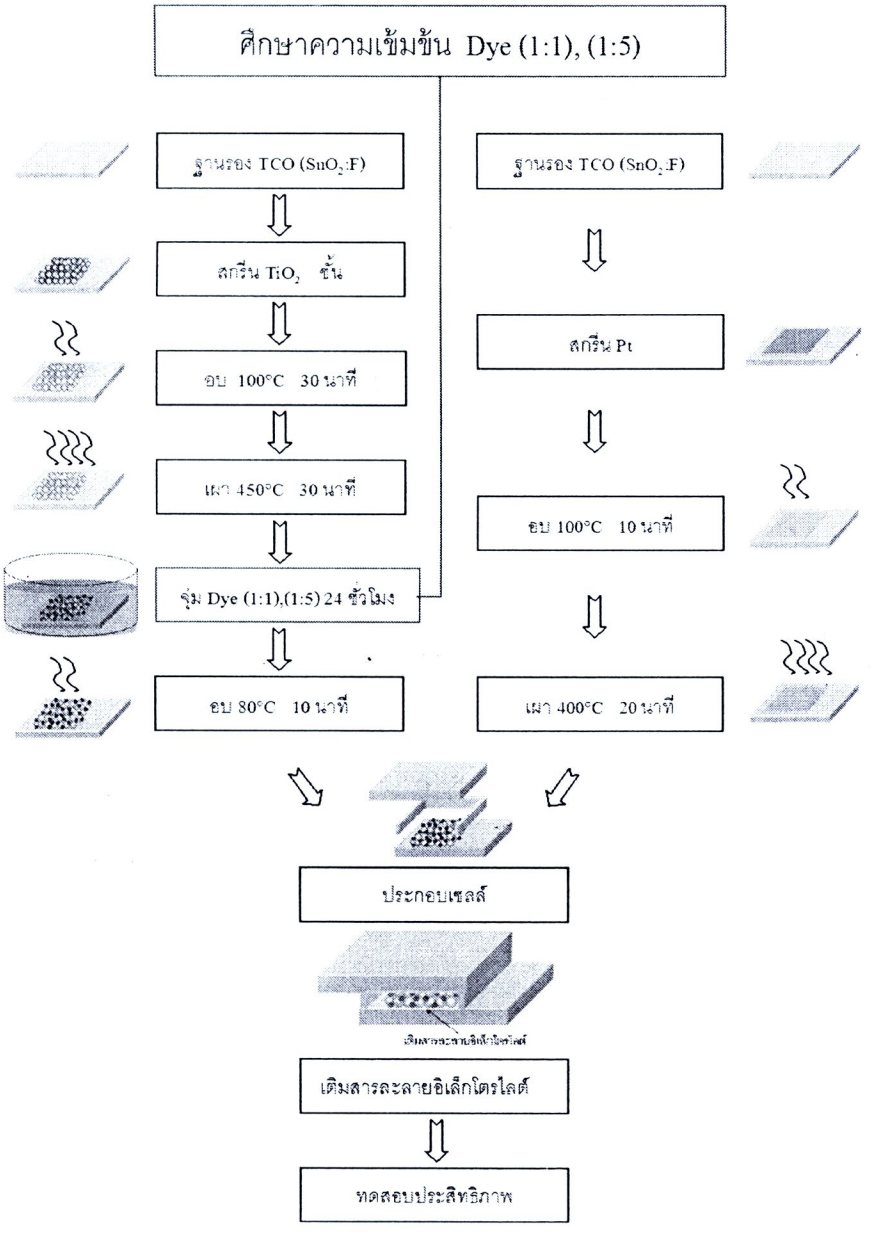
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 1)

การทดลองที่ 2 ศึกษาคุณสมบัติของ TiO_2 จาก Solaronix โดยวัสดุอื่นยังคงเดิม สกรีนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนฐานรอง TCO ความหนา (1~3) ชั้น เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจลทั้งสอง ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 2)

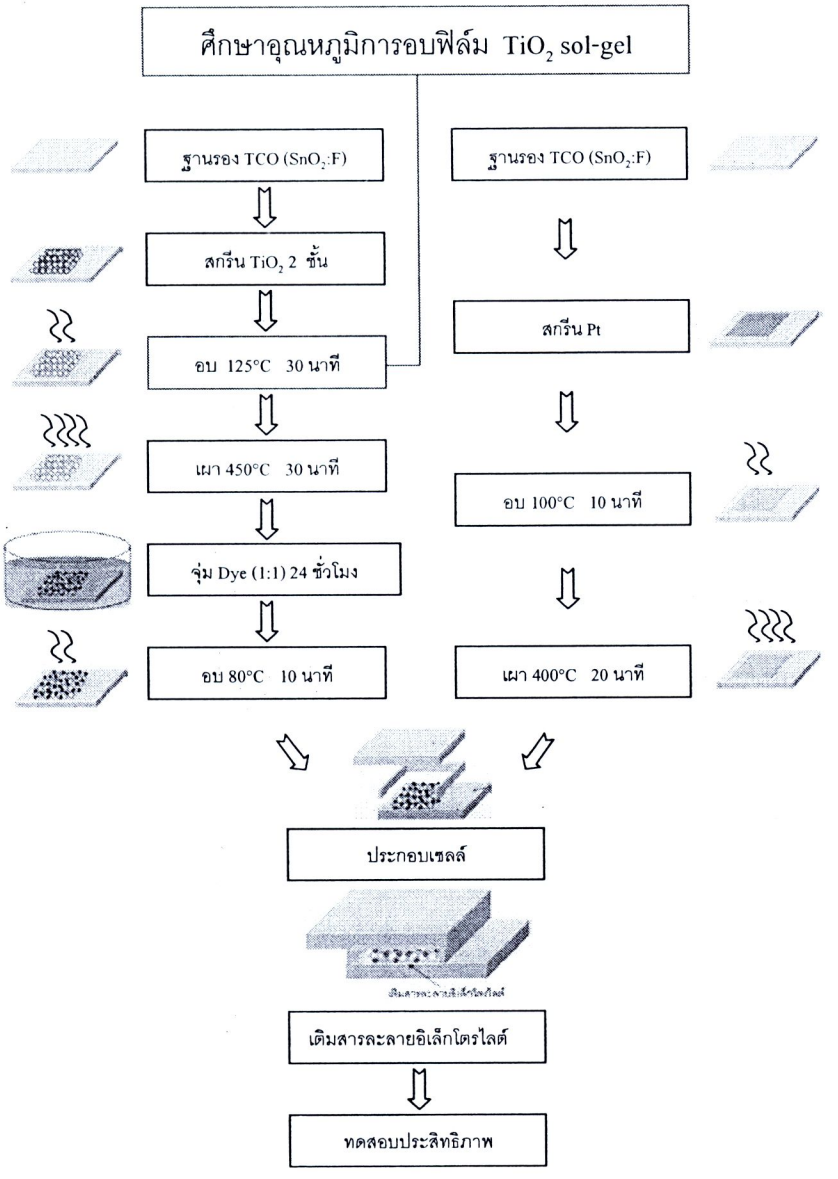
การทดลองที่ 3 ศึกษาความเข้มข้นสีย้อมไวแสง Dye ชนิด (N719) ซึ่งผสมด้วยตัวทำละลาย เอนอลที่ความเข้มข้นน้อย (1:5) และความเข้มข้นมาก (1:1) โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix เพื่อต้องการทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 3)

การทดลองที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิการอบฟิล์ม TiO_2 sol-gel โดยการทดลองนี้ได้ใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์โซล-เจล จาก Solaronix เงื่อนไขการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขคือ

1. อบที่อุณหภูมิ 100°C หลังการสกรีนแต่ละครั้งและหลังจากสกรีนชั้นสุดท้ายแล้วอบที่ 100°C ต่อเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C
2. อบที่อุณหภูมิ 125°C หลังการสกรีนแต่ละครั้งและหลังจากสกรีนชั้นสุดท้ายแล้วอบที่ 125°C ต่อเป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 450°C



รูปที่ 2.11 *ขั้นตอนกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (การทดลองที่ 4)*

2.3 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

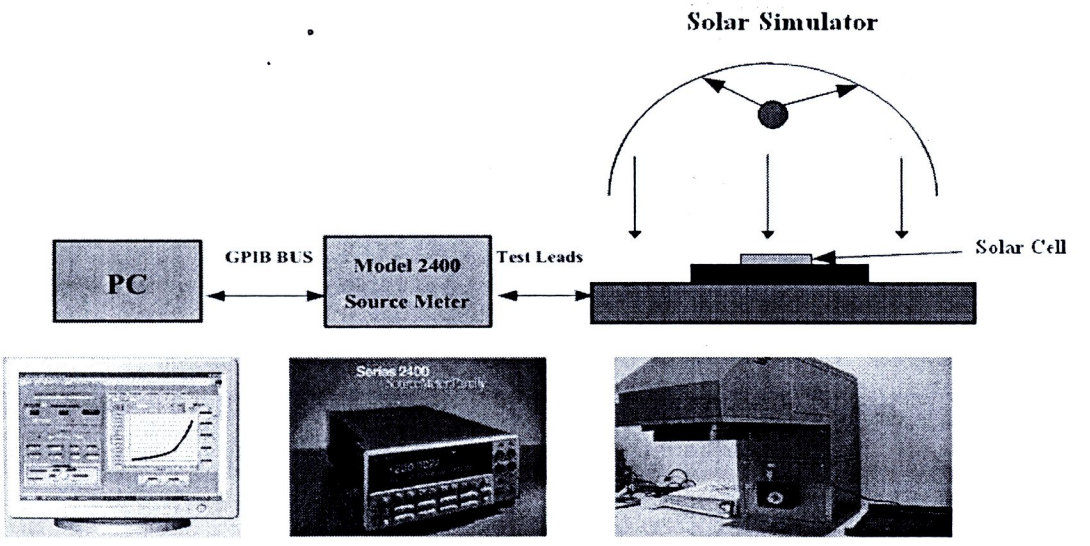
การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงอาทิตย์จำลองจากหลอด Xenon lamp สเปคตรัมของแสงที่ใช้คือ AM 1.5 ก่อนทำการวัดทุกครั้งจะทำการสอบเทียบ เพื่อให้ได้กำลังแสงที่ตกกระทบพื้นที่เซลล์ที่ 100 mW/cm^2 โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอนเป็นเซลล์อ้างอิง ซึ่งเซลล์อ้างอิงที่ใช้นี้ได้ผ่านการวัดประสิทธิภาพจากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) การวัดคุณสมบัติ I-V โดยการไบอัสเซลล์แสงอาทิตย์และวัดกระแสแสงของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เครื่อง Keithley digital source meter model 2400 ต่อระบบอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์และควบคุมการทำงานผ่านทางโปรแกรมแบบจำลอง Labview® แสดงดังรูปที่ 2.12

2.4 การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

ในการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ของงานวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพเป็นหลักเพราะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำหรับนำไปใช้เป็นดูดซับโมเลกุลของสีย้อมไวแสงที่ดี นอกจากนี้แล้วจำเป็นต้องวิเคราะห์สมบัติทางแสงของโมเลกุลสีย้อมเพื่อที่จะนำไปใช้เป็นขั้วไฟฟ้าโฟโตในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

2.4.1 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

การศึกษาภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ของศูนย์บริการเครื่องมือเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Thai Microelectronics Center : TMEC)



รูปที่ 2.12 ระบบวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.2 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)

การศึกษาสภาพพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ศึกษาโดยใช้เครื่อง AFM ของวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล (DSTAR) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.4.3 เครื่อง Step Profile

การศึกษาความหนาของไทเทเนียมไดออกไซด์โดยใช้เครื่อง Step Profile ของสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC)

2.4.4 การวิเคราะห์สมบัติทางแสง

การศึกษาสมบัติทางแสงในงานวิจัยนี้ศึกษาโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Helios Alpha UV-Vis spectrophotometer ของบริษัท Thermo Electron) ของศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อศึกษาค่าดูดกลืนแสงของโมเลกุลสีย้อมไวแสงโดยใช้ความยาวคลื่นในช่วง 400 – 750 นาโนเมตร