



การสังเคราะห์และการตรวจสอบคุณลักษณะของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์
สำหรับการใช้งานในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง
Synthesis and Characterization of TiO₂ Nanotube for
Using in Dye-Sensitized Solar Cell

กิตติรงค์ ศรีเมืองมาก

Kittirong Srimuangmak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Materials Engineering
Prince of Songkla University

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การสังเคราะห์และการตรวจคุณลักษณะของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับการใช้งานในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดขั้วอมลิวไรต์

ผู้เขียน นายกิตติพงษ์ ศรีเมืองมาก

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม นียมวาส)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เล็ก สีคง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม นียมวาส)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ เหล่าศิริพนธ์)

.....กรรมการ
(ดร.อานอบ คันทะชา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายกิตติพงษ์ ศรีเมืองมาก)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การสังเคราะห์และการตรวจคุณลักษณะของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์
สำหรับการใช้งานในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดขั้วมสีไวแสง

ผู้เขียน นายกิตติรงค์ ศรีเมืองมาก

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์และศึกษาวัสดุไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทูป โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทูปด้วยวิธีอะโนไดซ์เซชัน โดยวัสดุพื้นฐานเป็นแผ่นไทเทเนียมทางการค้าที่มีความหนา 25 ไมโครเมตร การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง พบว่า ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีอะโนไดซ์เซชันที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ ให้ผลปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่ดีที่สุด คือ 28.58 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างที่ได้เป็นท่อมีลักษณะปลายปิด มีความยาวประมาณ 700 นาโนเมตรในส่วนที่สองเป็นการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการอะโนไดซ์เซชัน โดยใช้อุณหภูมิของสารละลายที่ดีที่สุดจากส่วนแรกคือที่ 45 องศาเซลเซียสที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ จากการศึกษาพบว่าที่เวลาการอะโนไดซ์เซชัน 240 นาที ให้ผลปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่ดีที่สุด คือ 36 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างที่ได้เป็นท่อมีลักษณะปลายเปิดบางส่วน และท่อมีความยาวประมาณ 1.2 ไมโครเมตรในส่วนสุดท้ายเป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าในการอะโนไดซ์เซชัน โดยใช้อุณหภูมิของสารละลายที่ดีที่สุดจากส่วนแรก และเวลาที่ที่ดีที่สุดจากส่วนที่สองคือที่อุณหภูมิของสารละลาย 45 องศาเซลเซียสเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 240 นาที พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ ให้ผลปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกที่ดีที่สุดคือ 38 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างที่ได้เป็นท่อปลายเปิด โดยท่อมีความยาวประมาณ 5 ไมโครเมตร โดยผลการทดลองทั้งหมดเป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD

Thesis Title	Synthesis and Characterization of TiO ₂ Nanotube for Using in Dye-Sensitized Solar Cell
Author	Kittirong Srimuangmak
Major Program	Materials Engineering
Academic Year	2012

Abstract

The purpose of this research is to synthesize titanium nanotube (TNT). The experimental was divided into 3 parts. Titanium nanotube was synthesized by anodization method using commercial titanium sheet (thickness is 25 μm) as substrate. For this research reaction temperature, reaction time and voltage were investigated. The first part of experimental involved optimum reaction temperature for synthesize TNT to be 45^oC at 20 volt for 30 min. This temperature gave the best result of photocatalytic reaction (28.58%). Structure of TNT is closed form and pipe length of TNT was approximately 700 nm. The second part, optimum reaction time for synthesis TNT was 240 min at 20 volt and optimum temperature 45^oC. This temperature gave the best result of photocatalytic reaction (36.00%). Structure of TNT is opened form in some area and pipe length of TNT was approximately 1.2 μm . The voltage on anodization process was studied in the last part. The optimum voltage for synthesis TNT was 30 volt at optimum temperature (45^oC) and optimum reaction time 240 min. This voltage gave the best result of photocatalytic reaction (38.00%). Structure of TNT was opened form and pipe length was approximately 5 μm . All of results were titanium dioxide (TiO₂) that was confirmed by XRD technique.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ทั้งที่ออกนามและมิได้ออกนาม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆด้านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม นิมมาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำดูแลตลอดช่วงเวลาการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เล็ก สีคง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวรรณ เหล่าศิริพจน์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ดร.อานอบ คัมพะชา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุที่คอยแนะนำและเป็นທີ່ปรึกษาเกี่ยวกับการทำปฏิบัติการและงานด้านเอกสารต่างๆ และขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมเซรามิกและวัสดุผสม และกลุ่มวิจัยวัสดุนาโน สถานวิจัยวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนบัณฑิตวิทยาลัยภายใต้มหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบุคลากร ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง ที่อยู่เบื้องหลังคอยให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กิตติธรรณ ศรีเมืองมาก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการรูป	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย	1
1.2 ทฤษฎีและหลักการ	5
1.2.1 Dye Sensitized Solar cell	5
1.2.2 TiO_2 หรือ ไทเทเนียมไดออกไซด์	7
1.2.3 สมบัติทางด้านสารกึ่งตัวนำของไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม	7
1.2.4 ทฤษฎีของแสง	9
1.2.5 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี	11
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	15
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	16
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.7 สถานที่ทำวิจัย	16
2. วิธีการดำเนินการวิจัย	17
2.1 อุปกรณ์การทดลอง	17
2.2 วัสดุและสารเคมี	18
2.3 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง	19
2.3.1 กระบวนการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวป์	20
2.4 การตรวจสอบคุณลักษณะของแผ่นไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวป์	22
2.4.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)	22
2.4.2 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	23
2.4.3 ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายทีของเมทิลียบลู ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer	24
2.5 วิธีการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง	25
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	29
3.1 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ นาโนทิวป์ด้วยวิธีอะโนไดเซชัน	31
3.1.1 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์ โดยการแปรค่าอุณหภูมิ	31
3.1.2 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์ โดยการแปรค่าเวลาในการทดลอง	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.3 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์โดย การแปรค่าแรงดันไฟฟ้า	34
3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจากการสังเคราะห์ ไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวด้วยวิธีอะโนไดเซชัน	35
3.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจาก การสังเคราะห์โดยการแปรค่าอุณหภูมิ	35
3.2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจาก การสังเคราะห์โดยการแปรค่าเวลาในการทดลอง	37
3.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจาก การสังเคราะห์โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลอง	39
3.3 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก	39
3.3.1 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของตัวอย่างที่ได้จากการ สังเคราะห์โดยการแปรค่าอุณหภูมิ	39
3.3.2 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของตัวอย่างที่ได้จากการ สังเคราะห์โดยการแปรค่าเวลาในการสังเคราะห์	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของตัวอย่างที่ได้จากการ สังเคราะห์โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์	41
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	43
4.1 สรุปผล	43
4.2 ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	50
ประวัติผู้เขียน	53

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18

รายการรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงกระบวนการ Photocatalysis	4
1.2 การเลือกสมบัติของสารกึ่งตัวนำ	8
1.3 แสดงการเปรียบเทียบการสังเคราะห์แสงของพืช (a) กับการทำงานของสาร โฟโตแคตะลิสต์ (b)	9
1.4 แสดงช่วงของความยาวคลื่นแสงในช่วง Visible light	10
1.5 ส่วนประกอบของเซลล์อิเล็กโทรไลต์	12
2.1 เครื่อง Washbath Water bath	19
2.2 เครื่อง Power supply Agilent E3612A	20
2.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ TiO ₂ ด้วย Anodization	21
2.4 เครื่อง X-Ray Diffractometer Philips X'Pert MPD	22
2.5 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) QUANTA	23
2.6 เครื่อง UV-Vis Spectrometer Thermo Scientific Genesys 10UV	24
2.7 แผ่นไทเทเนียมหลังจากทำการทดลองและผ่านกระบวนการทางความร้อน	25
2.8 การย้อมสีของแผ่นไทเทเนียมเพื่อนำไปประกอบเป็นเซลล์แสงอาทิตย์	26
2.9 ลักษณะการตัดแผ่นเทอร์โมพลาสติก	26
2.10 เครื่องสปิน โค้ด เพื่อใ้กระจกที่นำไฟฟ้ามีแพลทตินั่มเคลือบอยู่	27
2.11 ลักษณะการวางแต่ละชั้นของการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์	27

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.12 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสงที่เสร็จสมบูรณ์	28
3.1 ค่าการนำไฟฟ้าทำการทดลองด้วยวิธีอะโนเซชันในสารละลาย NH_4F ที่แรงดันไฟฟ้า 20 V เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิต่างๆ	30
3.2 ค่าการนำไฟฟ้าทำการทดลองด้วยวิธีอะโนเซชันในสารละลาย NH_4F ที่แรงดันไฟฟ้า 20 V อุณหภูมิของสารละลาย 45 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ	30
3.3 ค่าการนำไฟฟ้าทำการทดลองด้วยวิธีอะโนเซชันในสารละลาย NH_4F อุณหภูมิของสารละลาย 45 องศาเซลเซียส (a) เวลา 180 นาทีที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆ	31
3.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (a) อุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส, (b) อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 35°C และ (c) อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 45 องศาเซลเซียส	32
3.5 รูปแบบการเกิดท่อ (a) เกิดชั้นออกไซด์ที่บริเวณผิวของแผ่นไทเทเนียม (b) ฟลูออไรด์เข้าไปเจาะชั้นผิวออกไซด์ (c) เกิดการงอกของชั้นผิวออกไซด์ (d) เกิดการจัดเรียงตัวพร้อมกับการงอกของชั้นผิวออกไซด์ (e) การจัดเรียงตัวเสร็จสมบูรณ์โดยที่อัตราการงอกเท่ากับ อัตราการเจาะ	33
3.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (a) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 60 นาที (b) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที	34

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (a) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาทีที่ แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์, (b) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 180 นาทีที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ และ (c) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาทีที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์	35
3.8 แสดงภาพถ่าย SEM ที่อุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส (a) Top view, (b) Cross section	36
3.9 แสดงภาพถ่าย SEM ที่อุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ 35 องศาเซลเซียส (a) Top view, (b) Cross section	36
3.10 แสดงภาพถ่าย SEM ที่อุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ 45 องศาเซลเซียส (a) Top view, (b) Cross section	37
3.11 แสดงภาพถ่าย SEM ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 60 นาที (a) Top view,(b) Cross section	38
3.12 แสดงภาพถ่าย SEM ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที (a) Top view,(b) Cross section	38
3.13 แสดงภาพถ่าย SEM ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาทีแรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ (a) Top view,(b) Cross section	40
3.14 แสดงภาพถ่าย SEM ที่เวลาในการสังเคราะห์ 180 นาทีแรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ (a) Top view,(b) Cross section	40

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 แสดงภาพถ่าย SEM ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ (a) Top view,(b) Cross section	41
3.16 อัตราการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของตัวแปรอุณหภูมิเมื่อเทียบความเข้มข้น ของสารเมทิลีนบลูกับเวลาในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู	42
3.17 อัตราการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของตัวแปรเวลาในการสังเคราะห์เมื่อเทียบ ความเข้มข้นของสารเมทิลีนบลูกับเวลาในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย

มีการสันนิษฐานกันว่า ความต้องการใช้พลังงานและปริมาณการแพร่กระจายของคาร์บอนไดออกไซด์ จะเพิ่มสูงขึ้น ประมาณร้อยละ 70 ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในปัจจุบัน ในปี 2000 ถึง 2030 โดยมีการใช้เชื้อเพลิงจาก ฟอสซิลประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณเชื้อเพลิงจากพลังงานทั้งหมด ทำให้ทรัพยากรดังกล่าวหมดไปอย่างรวดเร็วจึงได้มีการสำรวจทรัพยากรดังกล่าว ในปี 2002 พบว่า น้ำมันจะหมดลงในอีก 40 ปี แก๊สธรรมชาติจะหมดลงในอีก 60 ปี และอีก 200 ปี ถ่านหินก็จะหมดลงที่เป็นเช่นนี้เพราะความต้องการการใช้พลังงานที่สูงขึ้นบวกกับทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและสถานะโลกร้อนทำให้ต้องมีการคิดหาเทคโนโลยี ที่จะมาผลิตพลังงานและรักษาไว้ซึ่งสภาพแวดล้อมและพลังงานเหล่านั้นจะต้องเป็นพลังงานสะอาดสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งนั่นก็คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ (Greijer และคณะ, 2003) พลังงานแสงอาทิตย์ที่ดวงอาทิตย์สร้างขึ้นมีประมาณ 3.8×10^{23} กิโลวัตต์แต่เนื่องจากระยะทางที่ห่างจากโลก 93 ล้านไมล์ทำให้พลังงานที่ส่งมายังโลกลดน้อยลง พลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาถึงโลกประมาณ 1.8×10^{14} กิโลวัตต์ ถูกดูดซับโดยบรรยากาศและพื้นโลกประมาณ 1.25×10^{14} กิโลวัตต์ ในขณะที่พลังงานที่มนุษย์ใช้รวมกันทั้งโลกประมาณ 1×10^{14} กิโลวัตต์พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ได้พลังงานประมาณ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือเฉลี่ย 4-5 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมีความหมายว่าในวันหนึ่ง ๆ บนพื้นที่เพียง 1 ตารางเมตรนั้น จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ 1 กิโลวัตต์เป็นเวลานานถึง 4-5 ชั่วโมง ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน เท่ากับร้อยละ 15 ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 150 วัตต์หรือเฉลี่ย 600-750 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน สำหรับประเทศไทย มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 250 ล้านกิโลวัตต์ต่อวัน ดังนั้น พื้นที่ประมาณ 1500 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.3 ของประเทศไทย) จะสามารถผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการทั้งประเทศ

ในปัจจุบันวัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบันได้แก่ สารซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิพในคอมพิวเตอร์และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ซิลิคอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษมีการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) และ แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) แต่วัสดุเหล่านั้นยังมีราคาสูงและบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้นาน

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mono-Crystalline การเตรียมสารซิลิคอนชนิดนี้เริ่มต้นจากนำสารซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (ร้อยละ 99.999) มาหลอมละลายในเตา Induction furnace ที่อุณหภูมิสูงถึง 1500 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว) พร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด P-type แล้วทำให้เกิดการเย็นตัวจับตัวกันเป็นผลึกด้วย Seed ซึ่งจะตกผลึกมีขนาดหน้าตัดใหญ่แล้วค่อยๆ ดึงแท่งผลึกนี้ขึ้นจากเตาหลอม ด้วยเทคโนโลยีการดึงผลึกจะได้แท่งผลึกยาวเป็นรูปทรงกระบอกคุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์จากนั้นนำแท่งผลึกมาตัดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ด้วยลวดตัดเพชร (Wire Cut) เรียกว่าเวเฟอร์ ซึ่งจะได้แผ่นผลึกมีความหนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และขัดความเรียบของผิว จากนั้นก็จะนำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็น p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ด้วยวิธีการ Diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1000 องศาเซลเซียสจากนั้นนำไปทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ ที่ผิวบนจะเป็นขั้วลบส่วนผิวล่างเป็นขั้วบวกขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการเคลือบฟิล์มผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุดตอนนี้จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งานหลังจากนั้นก็นำไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ และใช้ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethylene vinyl acetate) ช่วยป้องกันความชื้น ในการใช้งานจริงเราจะนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการ

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline) การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีแรก คือการทำแผ่นเซลล์จะใช้วิธีการหลอมสารซิลิคอนให้ละลายพร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด p-type แล้วเทลงในแบบพิมพ์เมื่อสารละลายซิลิคอนแข็งตัวก็จะได้เป็นแท่งซิลิคอนแบบผลึกรวม (ตกผลึกไม่พร้อมกัน) จากนั้นนำไปตัดเป็นแผ่นเช่นเดียวกับแบบผลึกเดี่ยวความแตกต่างระหว่างแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากผิวผลึกถ้ามีโทนสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากผลึกเล็กๆหลายผลึกในแผ่นเซลล์จะเป็นแบบผลึกรวมในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นผลึกเนื้อเดียว คือมีสีเดียวตลอดทั้งแผ่นส่วน

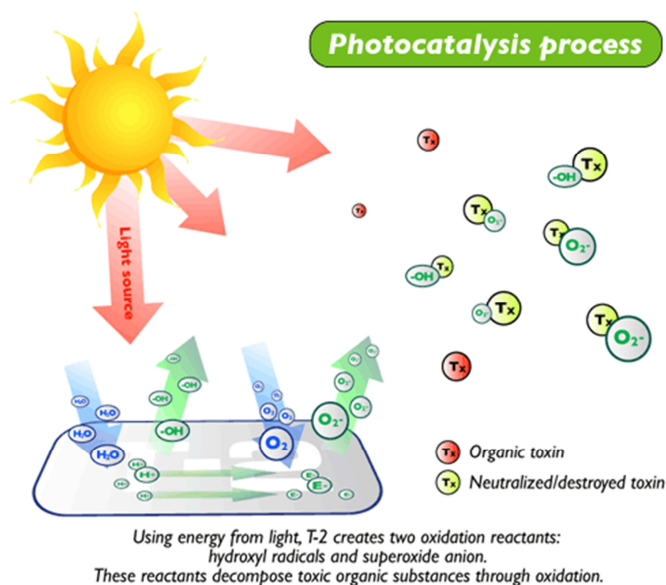
กรรมวิธีการผลิตเซลล์ที่เหลือนจะเหมือนกัน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline) จะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยว ประมาณร้อยละ 2-3 อย่างไรก็ตามเซลล์ทั้ง 2 ชนิด มีข้อเสียในการผลิต คือ แดกหักง่ายและมีราคาแพง

เมื่อเวลากว่า 3 พันล้านปีมาแล้วสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ยุคแรก มีเม็ดสี (Pigment หรือ Dye) เป็นส่วนประกอบหลัก จึงเรียก One-celled chemicalfactory คือ สามารถใช้ Hydrogen sulfide และสารประกอบอินทรีย์โดยมีแสงอาทิตย์เป็นตัวกระตุ้น เพื่อผลิตวัสดุที่ให้พลังงาน น้ำตาล คาร์โบไฮเดรต และสร้างวัสดุเพื่อเจริญเติบโต เม็ดสีที่เป็นวัสดุสำคัญในการดูดแสงอาทิตย์ที่เรียก Green chlorophyll นี้มีขนาด 10^{-50} นาโนเมตร เมื่อประมาณ 10 กว่าปีที่ผ่านมาร Grätzel และ Óregan (1991) ได้อาศัยพื้นฐานจากการสังเคราะห์แสงของพืชประดิษฐ์ Nano-Structure Dye-Sensitized Electrochemical Solar Cell ประสิทธิภาพร้อยละ 10 โดยใช้ Ruthenium (II) polypyridyl complex เป็นตัวดูดแสงและ (Amao และคณะ, 2004) ได้ใช้ Chlorophyll-aderivative และ Chlorine-e6 เป็นตัวดูดแสงแล้วส่งอิเล็กตรอนสู่ Nanocrystalline-TiO₂ ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำแบบ Wide band gap โดยที่ Mr. Gratzel ได้ทำการทดลองสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cell : DSSC) โครงสร้างพื้นฐานของ DSSC ประกอบด้วยวัสดุชั้นเป็นชั้นๆ ได้แก่ (1) Anode electrode ซึ่งเป็นกระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยโลหะออกไซด์ เช่น SnO₂ และเคลือบทับด้วย TiO₂ (ที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมคล้ายฟองน้ำ) ทำหน้าที่ดูดซับตัว Dye และรับอิเล็กตรอนจากตัว Dye (2) Dye ทำหน้าที่รับพลังงานแสงอาทิตย์และถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับขั้วไฟฟ้า (3) Electrolyte system (มีลักษณะหนืด) ที่สามารถจ่ายอิเล็กตรอนให้กับ Dye (4) Counter electrode ซึ่งทำหน้าที่เป็น Cathode ที่มีความต้านทานต่ำซึ่งเคลือบด้วยโลหะ Platinum ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนให้กับ Electrolyte system

หลักการทำงาน เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ เม็ดสีที่อยู่ภายในจะทำหน้าที่ดูดกลืนแสงแล้วอิเล็กตรอนของเม็ดสีเองจะมีระดับพลังงานที่สูงขึ้น และสามารถเคลื่อนที่เข้าไปสู่แถบการนำของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งก็คือ TiO₂ จากนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสง (กระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง) และไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกและจะเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าอีกข้างหนึ่งซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โลหะแพลททินัม (Pt) หรือสารจำพวกคาร์บอน (C) เคลือบอยู่ แล้วอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารอิเล็กโทรไลต์โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ออกซิเดชัน (Redox) ท้ายที่สุดอิเล็กตรอนจะไหลกลับมายังเม็ดสีที่อยู่ภายในเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเดิม โดยกระบวนการอย่างนี้จะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ トラบใดที่ยังมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อดีของ DSSC ใช้วัสดุราคาไม่แพง ประกอบง่าย ไม่จำกัดในเรื่อง Band gap ทำให้จำกัดการดูดกลืนช่วงคลื่นแสง และยังสามารถเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนดังเช่นที่เกิดใน Silicon solar cell ที่อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาใหม่ จะรวมตัวกับ Hole ก่อนที่จะมีโอกาสไปสู่ p-n junction

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม (Photocatalysis) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กระบวนการ Photocatalysis

(ที่มา: http://www.t-2.biz/index.php?cf=t-2_photocatalysis; สืบค้นเมื่อ 11/10/2009)

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จะทำการสังเคราะห์และศึกษาลักษณะของท่อ TiO_2 ระดับนาโน จากการปรับปรุงรูปร่างไทเทเนียมไดออกไซด์ระดับนาโนที่สามารถนำส่งอิเล็กตรอนสู่ขั้วได้รวดเร็วขึ้นกว่าอนุภาค TiO_2 ระดับนาโน เป็นการลดปัญหาการสูญเสียอิเล็กตรอนกลับไปรวมตัวกับ hole จะส่งผลต่อการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ให้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น และเพื่อประโยชน์สำหรับการใช้ข้อมูลในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคาย - เซนซิไตซ์ ให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิมได้

1.2. ทฤษฎีและหลักการ

1.2.1 DSSC หรือ Dye Sensitized Solar Cell เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงชนิดใหม่และมีหลักการการทำงานคล้ายคลึงกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชโดยภายในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงแบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่

1.2.1.1. ขั้วไฟฟ้าเวจิกิ่ง (Working-electrode) ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Semiconductor) เช่น TiO_2 , SnO_2ZnO , Fe_3O_4 , NiO และ SiO_2 เป็นต้น กระจกเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent Conducting oxide glass, TCO glass) เช่น สารกลุ่ม ITO (Indium doped tin oxide) หรือ FTO (Fluorine doped tin oxide) และ โมเลกุลของเม็ดสีที่ใส่ย้อม (Dye-sensitizer) สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์มักเป็นกลุ่มสารกึ่งตัวนำที่มีแถบพลังงานกว้าง (Wide band gap semiconductor) และมักถูกเตรียมให้อยู่ในรูปของฟิล์มบางที่มีลักษณะเป็นรูพรุนสูง (High porous) และเมื่อถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของเม็ดสีย้อมทำให้สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตามองเห็นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากต้องการให้โมเลกุลของสีย้อมมีการดูดกลืนแสงให้ได้มากที่สุดสารกึ่งตัวนำที่ใช้ควรจะไม่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็นทำให้ต้องเลือกใช้สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้างมากกว่า 3 อิเล็กตรอนโวลต์และระดับพลังงานของขอบล่างของแถบการนำ (Conduction band edge) ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับพลังงานที่สถานะถูกกระตุ้นของโมเลกุลของสีย้อมเพื่อทำให้เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของเม็ดสีมายังสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ได้นอกจากนั้นสารกึ่งตัวนำยังต้องมีค่าคงที่ของการนำไฟฟ้า (Dielectric constant, ϵ) ที่สูง มีความเสถียร ราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมสารกึ่งตัวนำในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในรูปของโครงสร้างผลึกแบบอะนาทาส (Anatase) (อะนาทาสมีค่า $E_g = 3.2$ อิเล็กตรอนโวลต์) ซึ่งผลึกแบบ อะนาทาสมีค่าคงที่การนำไฟฟ้าสูง ($\epsilon = 80$) และมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูง ($n = 2.5$) ทำให้มีการสะท้อนของแสงกลับไปกลับมาได้ดีเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงของโมเลกุลของเม็ดสีย้อม

กระจกเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง (Transparent conducting oxide glass) สารนำไฟฟ้าโปร่งแสงมีคุณสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้ดีแต่ในขณะเดียวกันก็ยอมให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นผ่านได้ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มักใช้สารอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากในกระบวนการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกนาโนเม็ดสีจะต้องมีการให้ความร้อนประมาณ 450 องศาเซลเซียสในการเตรียมชั้นฟิล์มของสารกึ่งตัวนำแบบแถบพลังงานกว้าง ซึ่งพบว่าการใช้ ITO นั้นจะไม่มีประสิทธิภาพเมื่อผ่านอุณหภูมิ

สูงทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานเริ่มต้นอันจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงดังนั้นจึงมีการใช้สารทินออกไซด์ที่เจือด้วยสารฟลูออไรด์ ($\text{SnO}_2 : \text{F}$) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงเป็นชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสง

1.2.1.2. เคา์นเตอร์อิเล็กโทรด (Counter-electrode) เคา์นเตอร์อิเล็กโทรดทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกให้กลับเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) โดยที่เคา์นเตอร์อิเล็กโทรดต้องมีสมบัติดังนี้คือมีค่าการนำไฟฟ้าที่ดี มีความเป็นรูพรุนสูงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาและจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีด้วยวัสดุที่นิยมใช้ทำเป็นเคา์นเตอร์อิเล็กโทรดคือ โลหะแพลทินัม (Pt) แต่เนื่องจากโลหะแพลทินัมมีราคาแพงอาจใช้วัสดุอื่นแทนได้เช่น ผงคาร์บอนท่อนาโนคาร์บอน หรือโพลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer) เช่น PEDOT หรือ Polypyrrole เป็นต้น

1.2.1.3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอน (Electron transfer) จากขั้วไฟฟ้าเคา์นเตอร์อิเล็กโทรดในสิ่งที่เป็นฟิล์มบางของโลหะแพลทินัมไปยังโมเลกุลของเม็ดสีที่เสียบอิเล็กตรอนไปในตอนแรกจากการถูกกระตุ้นด้วยแสงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะอาศัยกระบวนการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) ซึ่งสมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ดีมีดังนี้ จะต้องไม่มีการดูดกลืนแสงอาทิตย์ในช่วงที่ตามองเห็นมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชันได้ง่ายเพื่อชดเชยอิเล็กตรอนให้แก่เม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปตัวออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วและจะต้องมีความคงตัวสูง ไม่ก่อให้เกิดสารประกอบตัวใหม่ที่ไม่ต้องการขึ้นภายในเซลล์สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่นิยมใช้ในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้คือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในระบบ ที่ได้จากการแตกตัวของสารไอโอดีน (I_2) โดยจะมีประสิทธิภาพในการให้อิเล็กตรอนกับเม็ดสีย้อมที่อยู่ในรูปของตัวออกซิไดซ์ที่สถานะพื้นได้เป็นอย่างดี

1.2.1.4 เม็ดสีที่ใช้ย้อม (Dye-sensitizer) โมเลกุลของเม็ดสีจะเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาคโลหะออกไซด์และทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงอาทิตย์โดยเฉพาะช่วงที่ตามองเห็น โดยที่เม็ดสีย้อมจะต้องมีสมบัติ คือมีความเสถียรภาพเมื่ออยู่ในสภาวะที่ถูกออกซิไดซ์สภาวะพื้นและสภาวะถูกกระตุ้นมีค่าการดูดกลืนแสงที่สูง มีราคาถูกและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมซึ่งปกติแล้วมักใช้โมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะรูเทเนียม (Ru) กับลิแกนด์ในกลุ่มของพอลิไพรีดีน (polypyridine) เนื่องจากว่าสารดังกล่าวมีราคาแพงอันเนื่องมาจากการมีอยู่น้อย

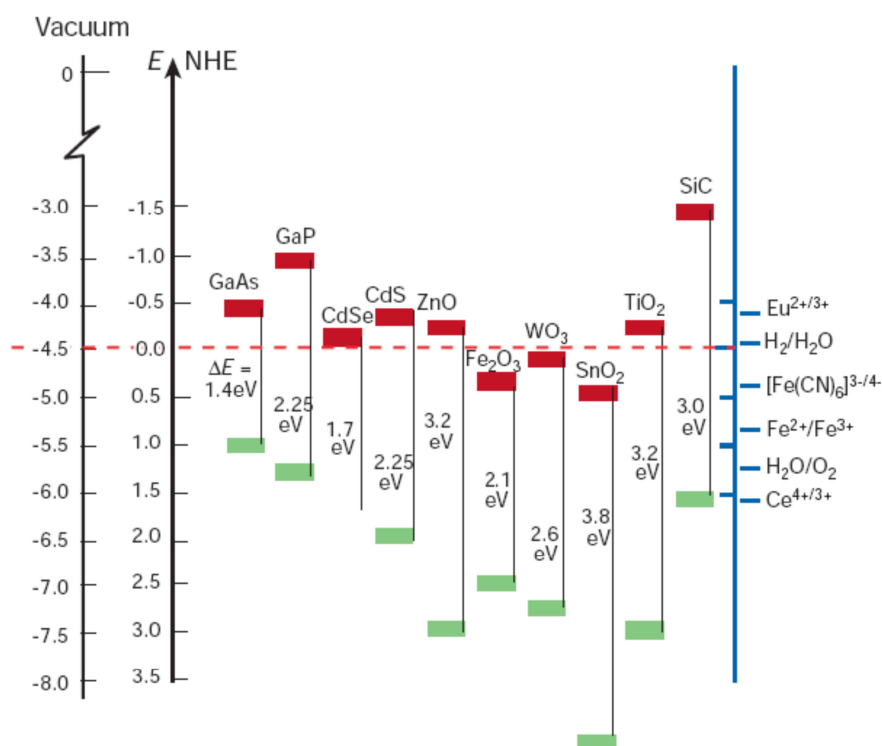
มากของโลหะ Ru ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมที่สกัดได้จากพืช เช่น สารคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) หรืออื่นๆจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ให้มีราคาถูกลง

1.2.2 TiO₂ หรือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n-type semiconductor เมื่อไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมและสั้นกว่าความยาวคลื่นมาตรฐานของสารกึ่งตัวนำจะเกิดกระแสไฟฟ้าแบบอะโนดิก (Anodic photocurrent) ไทเทเนียมไดออกไซด์มีความสามารถหลากหลายด้านขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน เช่น การป้องกันสนิมการกำจัดเชื้ออโคไลด์และการทำสมาร์ทวินโดว์ เป็นต้น ไทเทเนียมไดออกไซด์มี 3 โครงสร้างคือ รูไทล์ (Rutile) อะนาเทส (Anatase) และ บรูไคท์ (Brookite) จนถึงปัจจุบันงานวิจัยทางด้านไฟฟ้าเคมีส่วนใหญ่จะใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบรูไทล์หรืออะนาเทสหรือทั้งสองชนิดรวมกันซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมและการปรับสภาพให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้ทั้งรูไทล์และอะนาเทสมีหน่วยเซลล์ (Unit cell) เป็นแบบเตตระโกนอล (Tetragonal) ซึ่งภายในประกอบไปด้วย TiO₆ ออกตะฮีดรอล (Octahedral) ที่มีลักษณะบิดตัว ความยาวพันธะของรูไทล์และอะนาเทสจะคล้ายคลึงกันแต่อะนาเทสที่เป็นแบบออกตะฮีดรอลจะมีการบิดตัวของมุมมากกว่าดังนั้นอะนาเทสจึงมีโครงสร้างเป็นแบบเปิดมากกว่า (โมลาร์โวลุ่ม สูงกว่าความหนาแน่นต่ำกว่า) รูไทล์ (Rutile) มี Melting point ประมาณ=1858 องศาเซลเซียส

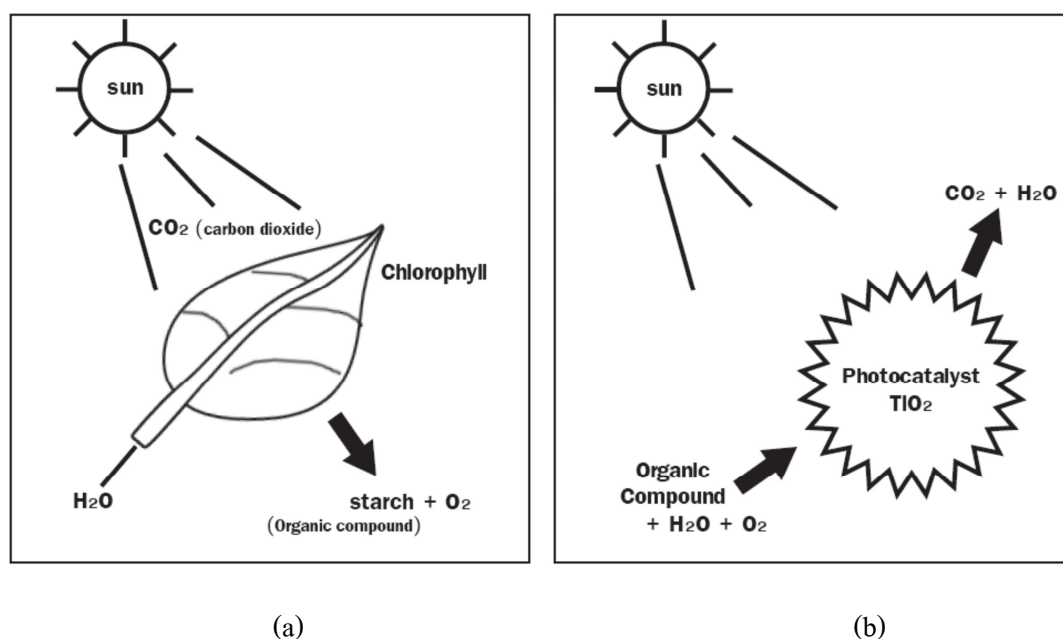
1.2.3 สมบัติทางด้านสารกึ่งตัวนำของไทเทเนียมไดออกไซด์ สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วม เนื่องจากไทเทเนียมมีตำแหน่งที่ว่างของออกซิเจนในโครงสร้างผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์จึงจัดได้ว่าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงร่วมที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and reduction reactions) โดยการกระตุ้นด้วยการดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าแถบช่องว่างพลังงาน (Band gap energy) ความสามารถของสารกึ่งตัวนำที่จะถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาที่ถูกดูดซับไว้นั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำและตำแหน่งของศักย์พลังงานในการเกิดรีดอกซ์ (Redox) ของสารที่ถูกดูดซับโดยปกติแล้วระดับของพลังงานที่ต่ำที่สุดของแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) จะเป็นระดับของศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันด้วยอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น (Excited electron) ในทางกลับกัน ระดับของพลังงานที่สูงที่สุดของแถบเวเลนซ์ (Valence band) จะเป็นระดับศักย์พลังงานที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโฮล (Hole) ที่เหลืออยู่หลังจากที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปแล้ว

สารกึ่งตัวนำที่สามารถมาใช้งานได้โดยอาศัยกระบวนการโฟโตแคตะไลติกมีหลากหลาย เช่น TiO_2 , ZnO_2 , WO_3 , Fe_2O_3 , SrTiO_3 , CdS , MoS_2 , ZnS , ZnTe และ CdSe เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.2

สารเร่งปฏิกิริยาดำแสง (Photocatalyst) เป็นสารที่เมื่อถูกแสงกระทบซึ่งอาจเป็นแสงจากดวงอาทิตย์หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์แสงจะเป็นตัวช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยที่ตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสารไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ก็เป็นหนึ่งในสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารเร่งปฏิกิริยาดำแสงได้เมื่อสารไทเทเนียมไดออกไซด์ดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) จากแสงอาทิตย์หรือจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ Hydroxyl radicals (OH) และ Superoxide anion (O_2^-) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile organic compounds: VOCs) และสารอินทรีย์ที่เป็นพิษเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำที่อุณหภูมิห้องโดย Hydroxyl radicals จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์กลายเป็นน้ำ (H_2O) ในขณะที่ Superoxide anion จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในสารอินทรีย์กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การทำงานของสารโฟโตแคตะไลสต์จะคล้ายๆกับการสังเคราะห์แสงของพืชดังแสดงในรูปที่ 1.3

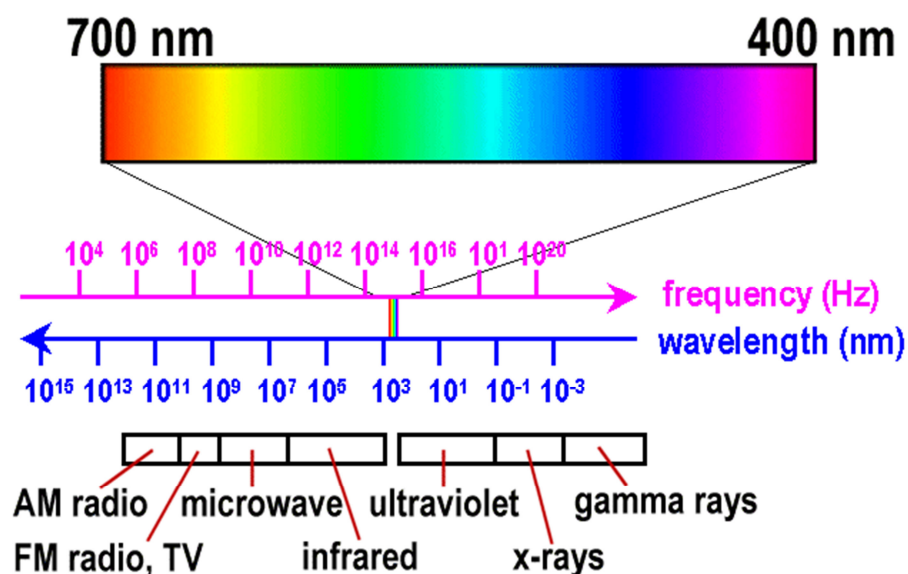


รูปที่ 1.2 การเลือกสมบัติของสารกึ่งตัวนำ (ที่มา : Gratzel 2001)



รูปที่ 1.3 แสดงการเปรียบเทียบการสังเคราะห์แสงของพืช (a) กับการทำงานของสารโฟโตแคตะลิซิสต์ (b) (ที่มา : <http://opac.tistr.or.th/Multimedia/STJN/5001/5001-11.pdf>; สืบค้นเมื่อ 11/10/2009)

1.2.4 ทฤษฎีของแสง (Light theories) แสง (Light) คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro magnetic: EM) ชนิดหนึ่งที่กระจายกระจายอยู่ทุกอนุในธรรมชาติรอบตัวเรามีลักษณะคล้ายกับคลื่นในมหาสมุทรคือมียอดคลื่น (Crest) และท้องคลื่น (Trough) ระยะทางระหว่างยอดคลื่นเรียกว่าความยาวคลื่นหรือ Wavelength (บางครั้งเรียกความถี่หรือ Frequency ซึ่งหมายถึงความเร็วของความยาวคลื่นต่อวินาที) ความยาวคลื่นมีหน่วยนับตั้งแต่ นาโนเมตร (Nanometer: nm $1\text{nm} = 1/100000000$ เมตร) เป็นต้นไปจนถึงกิโลเมตรและความสูงระหว่างท้องคลื่นกับยอดคลื่นเรียกว่า Amplitude ในแต่ละช่วงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยคลื่นแสงและรังสีที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์มากมายในด้านต่างๆต่อไปนี้ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงช่วงของความยาวคลื่นแสงในช่วง Visible light

(ที่มา : <http://groups.csail.mit.edu/graphics/classes/6.837/F01/Lecture02/Slide22.html>;

สืบค้นเมื่อ 11/10/2009)

- รังสีแกมมา (Gamma Rays)
- รังสีเอ็กซ์ (X-Rays)
- แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)
- แสงสีที่มองเห็นได้ (Visible Color)
- แสงอินฟราเรด (Infrared)
- คลื่นไมโครเวฟ (Microwave)
- คลื่นวิทยุ (Radio frequency)

แสงที่มองเห็นเป็นสีต่างๆนี้เกิดจากความยาวคลื่นและความถี่ที่ต่างกัน โดยความยาวคลื่น (Wavelength) เป็นตัวกำหนดสี (Hue) และ Amplitude เป็นตัวกำหนดความสว่างของสี (Brightness) ความยาวคลื่นของสีที่มองเห็นมีดังนี้

- สีม่วง (Violet) 380 - 450 nm
- สีน้ำเงิน (Blue) 450 - 490 nm

- สีเขียว (Green) 490 - 560 nm
- สีเหลือง (Yellow) 560 - 590 nm
- สีส้ม (Orange) 590 - 630 nm
- สีแดง (Red) 630 - 780 nm

1.2.5 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอน โดยเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นไฟฟ้า หรือให้กระแสไฟฟ้าแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดปฏิกิริยาย่อย 2 ปฏิกิริยาพร้อมกันคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) โดย ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเป็นปฏิกิริยาที่สูญเสียอิเล็กตรอน และ ปฏิกิริยารีดักชัน จะเป็นปฏิกิริยา ที่รับอิเล็กตรอน

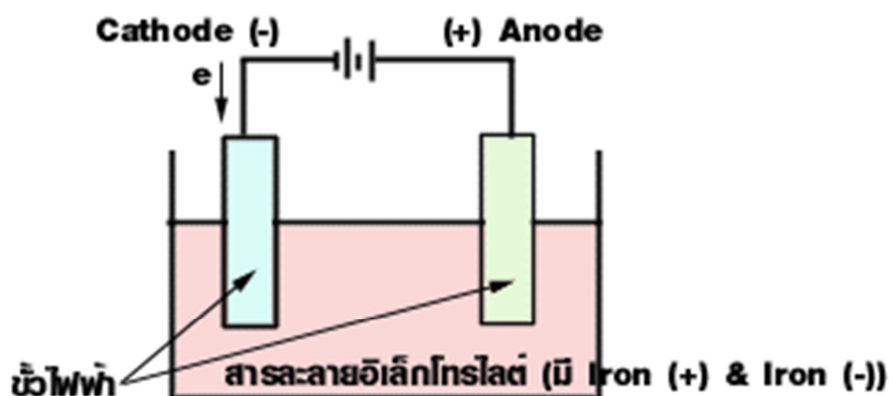
1.2.5.1 อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) หมายถึงกระบวนการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำได้โดยผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ หรือสารอิเล็กโทรไลต์ที่หลอมเหลวแล้วสารอิเล็กโทรไลต์เกิดการแยกสลายได้สารใหม่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด

1.2.5.2 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ หมายถึง เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นปฏิกิริยาเคมี หรือเป็นระบบที่เกิดกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

1.2.5.3 ส่วนประกอบของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ เซลล์อิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้ว จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรืออิเล็กโทรไลต์ที่หลอมเหลว ขั้วไฟฟ้าทั้งสองต่อกับขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่าแอโนดและ ส่วนขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่าแคโทด ดังแสดงในรูปที่ 1.5

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Haripriya และคณะ (2007) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ TiO_2 Nanotube ด้วยกระบวนการ Anodization จาก Ti foil โดยมีการปรับส่วนประกอบของ สารละลายของน้ำและ NH_4F และแรงดันไฟฟ้า พบว่า ระหว่างสารละลายที่ใช้แล้วจะให้ความยาวของท่อ nanotube ที่ดีกว่า สารละลายที่ไม่เคยใช้ในส่วนผสมเดียวกัน โดย ส่วนผสมของ NH_4F ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักและน้ำ ร้อยละ 2 โดยปริมาตรจะให้ความยาวท่อ Nanotube ที่ยาวที่สุด มากกว่าส่วนผสมอื่นๆ และใน



รูปที่ 1.5 ส่วนประกอบของเซลล์อิเล็กโทรไลต์

(ที่มา : <http://school.obec.go.th/mrvilai/electrolyticcell.htm>; สืบค้นเมื่อ 11/10/2009)

ส่วนผสมดังกล่าวแบบที่ไม่เคยใช้นั้นเมื่อปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าต่างๆพบว่า ที่แรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์จะให้ความยาวของท่อ 165 ไมโครเมตรเส้นผ่านศูนย์กลางใน 105 นาโนเมตรเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 155 นาโนเมตรซึ่งมีความยาวและความกว้างมากที่สุด

Abu และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษา การสังเคราะห์ TiO_2 Nanotube ด้วยวิธีการ Sputtering coat Ti ลงบนกระจก Indium tin oxide (ITO) แล้วนำไป Anodization โดยใช้สารละลายของ NH_4F และ Ethylene glycol ที่แรงดันไฟฟ้า 5, 10 และ 20 โวลต์เป็นเวลา 5, 10, 45 และ 80 นาทีพบว่า การ anodized ใช้แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ เป็นเวลา 80 นาที ท่อ nanotube ที่ได้จะมีความลึกมากกว่า การทดลองอื่นๆ สรุปคือ การ Anodization ในสารละลายที่กล่าวมานั้น จะมีการสร้างท่อ nanotube ที่สม่ำเสมอโดยเกิดจากการกัดกร่อน ในการสังเกตที่อุณหภูมิการ Annealed 500 องศาเซลเซียสค่าการส่งผ่านของแสงในช่วงความยาวคลื่นแสง 840 นาโนเมตรจะอยู่ที่ 85 เปอร์เซ็นต์

Xie และคณะได้ศึกษาถึงการสังเคราะห์ Ti nanotube ด้วยวิธีการ Anodization และการนำไปประยุกต์ใช้ในโซลาเซลล์ชนิดย้อมสีไวแสง โดยทำการ Anodization ในสารละลายที่มีส่วนผสมของ Ethylene glycol กับ DI water และ NH_4F แรงดันไฟฟ้า และใช้สารละลายย้อม N3 dye acetonitrile และ Ethanol พบว่า ที่แรงดันไฟฟ้าในการ Anodized 60 โวลต์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 2.44 เปอร์เซ็นต์ และการ Anodized เวลา 16 ชั่วโมง ที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ 1.98 เปอร์เซ็นต์ โดยการวัดประสิทธิภาพนี้จะวัดที่ความเข้มแสง AM 1.5 $100\text{mW}/\text{cm}^2$

Macak และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ TiO_2 Nanotube ด้วยวิธีการ Anodization เพื่อให้มีความยาวของท่อนาโนที่ต่างกันเพื่อวัดประสิทธิภาพอัตราการไหลของแสงจากการ Anodization ในสารละลาย Fluoride ที่มีส่วนผสมต่างกัน 2 แบบ พบว่า แบบท่อยาว จะมีความยาวของท่อประมาณ 2.5 ไมโครเมตร และแบบท่อสั้น จะมีความยาวของท่อประมาณ 500 นาโนเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทั้งสองแบบ กว้างประมาณ 100 นาโนเมตรและความหนาของท่อประมาณ 15 นาโนเมตรและเมื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ IPCE ที่ความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตรพบว่า ท่อยาวจะมีประสิทธิภาพ IPCE ดีกว่า อยู่ที่ 3.3 เปอร์เซ็นต์ส่วนท่อสั้นอยู่ที่ 1.6 เปอร์เซ็นต์

Lai และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ TiO_2 Nanotube ด้วยวิธีการ Anodization โดยการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า พบว่าจากการสังเคราะห์ TiO_2 Nanotube ในสารละลาย Hydrofluoric acid ที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์จะขนาดความยาวของท่อที่ดีกว่าการใช้แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์

Vega และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาถึงขนาดของท่อนาโนโดยการสังเคราะห์จาก Ti foil ด้วยวิธีการ Anodization โดยมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของสารละลายต่างๆ เวลาที่ใช้ในการ Anodization และแรงดันไฟฟ้า พบว่า การ Anodization ในสารละลายร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักของ NH_4F ร้อยละ 1.8 โดยปริมาตรของ $\text{H}_2\text{O} + \text{Ethylene glycol}$ ที่แรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์เป็นเวลา 42 ชั่วโมง จะมีขนาดของท่อนาโนที่ดีที่สุดโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 นาโนเมตรและความยาว 30 นาโนเมตร

AmmarElsanousi และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของ NH_4F ที่มีผลต่อขนาดของท่อไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยการสังเคราะห์ด้วยวิธี Anodization พบว่าที่ความเข้มข้นของ NH_4F ร้อยละ 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5 โดยน้ำหนักแรงดันไฟฟ้า 60 โวลต์ เวลา 60 นาที จะได้ความยาวของท่อ 1.2, 1.9, 13, 15, 7.5 และ 5.3 ไมโครเมตรตามลำดับ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 80 – 140 นาโนเมตรและ ความหนาของท่อจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NH_4F จากเริ่มต้นความหนาของท่อ 40 นาโนเมตรที่ความเข้มข้นของ NH_4F ร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักลดลงไปจนถึง 9 นาโนเมตรที่ความเข้มข้นของ NH_4F ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก

Han Yang และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการควบคุมการเจริญเติบโตของเส้นผ่านศูนย์กลางของ TiO_2 nanotube โดยสังเคราะห์ด้วยวิธี Anodization ในสารละลาย Ethylene glycol/HF ที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์เวลา 60 นาที โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ HF ที่ 0.1, 0.2,

0.3, 0.4 และ 0.5 โมลค่าพบว่าที่ความเข้มข้น 0.2, 0.3 และ 0.4 ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางใน 41, 20 และ 37 นาโนเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางนอก 78, 38 และ 59 นาโนเมตร ความหนาของผนังท่อ 22, 8 และ 13 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นของ HF ที่ร้อยละ 0.1 และ 0.5 โดยน้ำหนักไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจากไม่มีการก่อรูปเป็นท่อไทเทเนียมไดออกไซด์

Mohapatra และคณะ (2007) ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธี sonoelectrochemistry ที่แรงดันไฟฟ้า 5-20 โวลต์ พบว่าอัตราการงอกของท่อนาโนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จากวิธีการสังเคราะห์แบบอื่น และท่อที่ได้มีการเรียงตัวเป็นระเบียบ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ได้มีขนาด 30-100 นาโนเมตร และมีความยาวของท่อ 300-1000 นาโนเมตร

Wang และคณะ (2009) ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธี Anodization โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลายและแรงดันไฟฟ้า พบว่า ทั้งอุณหภูมิของสารละลายและแรงดันไฟฟ้า มีผลต่อการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่ในสารละลายที่มีน้ำ อุณหภูมิของสารละลายจะมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยในสารละลายที่ไม่มีน้ำนั้น อุณหภูมิของสารละลายจะส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 20 – 90 นาโนเมตร

Enachi และคณะ (2010) ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธี Anodization ในการละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ผลคือทำให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางใน มีขนาดตั้งแต่ 10 นาโนเมตร ไปจนถึง 250 นาโนเมตร จากการปรับอุณหภูมิ -20 ไปจนถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งรวมไปถึงการแปรค่าต่างๆ ในการทดลองด้วย

Palmas และคณะ (2012) ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธี Anodization ในสารละลายที่เป็นออกแกนิก พบว่า โครงสร้างนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะถูกสร้างขึ้นในสารละลายที่เป็นออกแกนิก และมีฟลูออไรด์ผสมอยู่ โดยภายหลังจากการผ่านกระบวนการทางความร้อนพบว่าเกิดเป็นโครงสร้างผลึก และมีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายท่อนาโน และยังมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีอีกด้วย

Sreekantan และคณะ (2009) ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธี Anodization โดยปรับค่าพีเอชของสารละลาย พบว่า เมื่อสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในสารละลายที่มีค่าพีเอช 3, 5 และ 7 พบว่าจะได้ท่อนาโนที่มีความยาว 0.7 ถึง 2.5 ไมโครเมตร โดยที่ ค่าพีเอช 3 อัตราการงอกของท่อนาโน จะอยู่ที่ 23 นาโนเมตรต่อนาที่ ค่าพีเอช 5 อัตราการงอกของท่อนาโน จะอยู่ที่ 15 นาโนเมตรต่อนาที่ และค่าพีเอช 7 อัตราการงอกของท่อนาโน จะอยู่ที่ 8 นาโนเมตรต่อนาที่ ภายหลังจากการผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศา

เซลล์ซึ่งพบว่าท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างเป็นอะนาเทสเฟส 76 เปอร์เซ็นต์ และเป็นรูไทล์ 24 เปอร์เซ็นต์

Tayirjan และคณะ (2012) ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี Anodization พร้อมกับการใช้เครื่องอัลตราโซนิก ในระหว่างกระบวนการ Anodization โดยใช้สารละลายที่มีฟลูออไรด์เป็นส่วนผสมเพื่อให้ได้โครงสร้างที่เป็นท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 20 – 40 โวลต์ จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 30-100 นาโนเมตร ความยาวของท่อนาโนที่ได้มีขนาด 3-12 ไมโครเมตร และความหนาของผนังท่อ 6-15 นาโนเมตร โดยความยาวของท่อนาโน เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนและความหนาของผนังท่อนาโนจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการทดลอง

Li และคณะ (2012) ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี Anodization ในสารละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่าท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80-100 นาโนเมตร และมีความยาว 4.9 ไมโครเมตร

จากการทบทวนเอกสารข้างต้น พบว่าการสังเคราะห์ TiO_2 Nanotube จาก Ti foil ด้วยวิธีการ Anodization ทำให้เกิดเป็นท่อนาโนที่เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยขนาดของท่อนาโนนั้นจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสารละลายและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ทำให้เกิดแนวคิดว่า หากทำการทดลองโดยการสังเคราะห์ TiO_2 Nanotube จาก Ti foil ด้วยวิธีการ Anodization ให้ได้ท่อนาโนที่ยาวและมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก เป็นการเพิ่มพื้นที่รับแสง ทำให้เกิดปฏิกิริยา Photocatalysis ในเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ดีขึ้น

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.4.1 สังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ให้มีโครงสร้างเป็นท่อในระดับนาโนเมตรจากไทเทเนียมฟอยล์ (foil) โดยกระบวนการ Anodization ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของ TiO_2 Nanotube ด้วยเครื่อง XRD และ SEM

1.4.2 ศึกษาผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการ Anodization ที่มีผลกระทบต่อสมบัติของ TiO_2 Nanotube

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ใช้สารตั้งต้น คือ TiO_2 Foil, สารละลาย NH_4F และ Ethylene glycol การออกแบบการทดลองโดยการปรับเปลี่ยน อุณหภูมิ, เวลา และแรงดันไฟฟ้า ในการ Anodization

1.5.2 ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 1.5.1

1.5.3 วิเคราะห์ผลและเสนอแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ท่อไทเทเนียมไดออกไซด์ระดับนาโน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงกระบวนการของการ Anodization

1.6.2 ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของ TiO_2 nanotube

1.6.3 ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่ทำการปรับเปลี่ยน

1.6.4 เพื่อให้ได้ TiO_2 nanotube ที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า

1.7 สถานที่ทำการวิจัย

1.7.1 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.7.2 สถานวิจัยวิศวกรรมวัสดุ อาคารวิจัยวิศวกรรมประยุกต์ สิริินทร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.7.3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบไปด้วยวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube รวมถึงขั้นตอนการดำเนินการในการวิจัย

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง วิเคราะห์และทดสอบ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ	แบบ/รุ่น
X-ray Diffractometer (XRD)	Philips	X' Pert MPD
Scanning Electron Microscope (SEM)	JEOL และ FEI	JSM-5800 LV และ QUANTA OHAUS
เครื่องชั่งสาร (OHAUS, Pioneer)	Pioneer	
UV-Vis Spectrometer	Thermo Scientific	Genesys 10UV
Power supply	Agilent	E3612A
Water bath	Wishbath	-
Multimeter	Uni-t	UT60A
Furnace	Constructed by Dr.	-
Ultrasonic	CREST	CP200HT
Computer set	-	-
Beaker	Pyrex	-
Test tube	Pyrex	-

2.2 วัสดุและสารเคมี

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อทางการค้า	ความบริสุทธิ์ (ร้อยละ)	ผู้ผลิต / ให้ความอนุเคราะห์
Titanium foil (0.25 mm)	99.7%	Sigma
Ammonium fluoride (NH ₄ F)	-	Merck
Ethelene glycol	99.95%	Fisher Chemical
Platinum gauze, 52mesh	99.9%	Sigma
Methelene Blue	-	AjexFinechem
Fluoride doped tin oxide coat glass	-	Dyesol Industries
Dye N719	-	Sigma
Tetraammine platinum choride hydrate	-	Sigma
Ethanol	-	Merck
Acetone	-	J.T. Baker
DI Water	-	ศูนย์เครื่องมือกลาง

2.3 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง

การสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วยวิธีการ Anodization แบ่งเป็น 3 ช่วงได้แก่ การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสารละลาย เวลาในการสังเคราะห์และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ โดยช่วงแรกเป็นการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ในระหว่างการทดลองโดยใช้เครื่อง Water bath เป็นเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เครื่องWishbath Water bath

ซึ่งการแปรค่า อุณหภูมิจะเริ่มจาก 25, 30, 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียสโดยที่ใช้เวลาและแรงดันไฟฟ้าที่ 30 นาที่ 20 โวลต์จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปให้ความร้อนโดยกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อทดสอบการย่อยสลายสีเมทิลีนบลู ช่วงที่ 2 เป็นการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube โดยเป็นการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ ซึ่งการแปรค่าเวลาจะเริ่มจาก 60, 120, 180 และ 240 นาที โดยเลือกใช้เงื่อนไขที่ดีที่สุดจากช่วงแรกของการทดลองจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปให้ความร้อนโดยกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อทดสอบการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูและช่วงที่ 3 เป็นการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube โดยเป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์โดยควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากเครื่อง Power Supply ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่อง Power supply Agilent E3612A

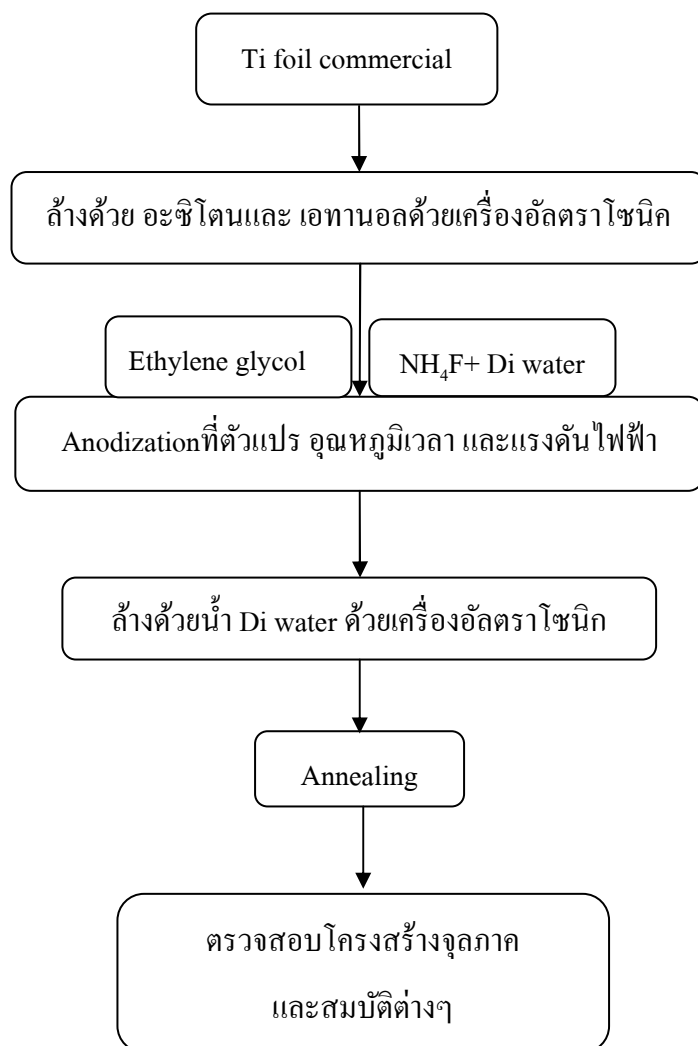
ซึ่งการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าจะเริ่มจาก 20 และ 30 โวลต์ โดยเลือกใช้เงื่อนไขที่ดีที่สุดจากช่วงแรกของการทดลองจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปให้ความร้อนโดยกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Zhang และคณะ, 2007) และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อทดสอบการย่อยสลายสีเมทิลีนบลู วิเคราะห์โครงสร้างผลึก และเฟสของสารประกอบด้วยเครื่อง XRD วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่อง SEM

2.3.1 กระบวนการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube

แผ่นไทเทเนียมทางการค้าที่มีขนาดความหนา 250 ไมโครเมตรนำมาใช้เป็นขั้วสเตรดในการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube โดยวิธีอโนไดซ์เซชันในการละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักน้ำร้อยละ 2 โดยปริมาตร ในแอทิสันไกลคอลโดยนำแผ่นไทเทเนียมไปล้างด้วย อะซิโตนและเอทานอลในเครื่องอัลตราโซนิกจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง เมื่อแห้งแล้วนำแผ่นไทเทเนียมที่ได้ไปทำการสังเคราะห์โดยให้แผ่นไทเทเนียมต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่อง Power supply ส่วนขั้วลบจะต่อเข้ากับโลหะเพลตตินัม โดยทั้งสองขั้วจะถูกแช่อยู่ในสารละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์โดยมีการให้ความร้อนแก่สารละลายด้วยเครื่อง Water bath เพื่อปรับอุณหภูมิของสารละลายตามต้องการ เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปล้างด้วย DI

water แล้วนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังแสดงในแผนผังขั้นตอนการสังเคราะห์ในรูปที่ 2.3

ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเวลาและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วย Anodization โดยการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและเฟสของสารประกอบ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและการทดสอบปฏิกิริยา Photocatalytic โดยทดสอบการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต (หลอดรังสียูวีขนาด 10 วัตต์จำนวน 5 หลอด) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตรวจสอบการสลายสีโดยวัดความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ TiO₂ nanotube ด้วย Anodization

2.4 การตรวจสอบคุณลักษณะของแผ่น TiO₂ nanotube

การตรวจสอบคุณลักษณะของแผ่นไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวบ์โดยผ่านกระบวนการทดลองด้วยวิธีอะโนไดซ์เซชั่นจากการแปรค่าอุณหภูมิ เวลาและแรงดันไฟฟ้าในการทดลอง และผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆดังนี้

2.4.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

เครื่องทดสอบด้าน X-ray โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ดังรูปที่ 2.4 เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกและเฟสของสารประกอบและวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของเฟส โดยวิธีเชิงกึ่งปริมาณ (Semi-quantitative analysis) โดยประมาณจากพื้นที่ใต้กราฟของพีคจากรูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (XRD Pattern)



รูปที่ 2.4 เครื่อง X-Ray Diffractometer Philips X'Pert MPD

โดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$R_{\text{anatase}} = \frac{A_{\text{anatase}}}{A_{\text{anatase}} + A_{\text{monoclinic}}} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$R_{\text{anatase}} = \frac{A_{\text{monoclinic}}}{A_{\text{anatase}} + A_{\text{monoclinic}}} \times 100\% \quad (2.2)$$

เมื่อ R_{anatase} คือ ปริมาณโครงสร้างผลึกแบบอะนาทาส

$R_{\text{monoclinic}}$ คือ ปริมาณโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก

A_{anatase} คือ พื้นที่ใต้กราฟของพีคนาทาส

$A_{\text{monoclinic}}$ คือ พื้นที่ใต้กราฟของพีคโมโนคลินิก

2.4.2 เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

เป็นเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้สำหรับศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของชิ้นงานตัวอย่าง โดยมีกำลังขยายสูงสุด 300,000 เท่าเหมาะสำหรับทั้งตัวอย่างทางวัสดุและชีววิทยา สามารถถ่ายภาพตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้า (Non-conductive materials) มีความชื้น (Moist) และมีลักษณะเปียก (Wet) ตัวอย่างที่มีไอระเหย ตัวอย่างสดหรือไม่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นมาก่อนได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) QUANT)

2.4.3 ปฏิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

จากการสังเคราะห์แผ่น TiO_2 nanotube ที่ได้นำมาทดสอบ Photocatalytic โดยการย่อยสลายสีของเมทิลีนบลูโดยแผ่นที่ใช้ในการทดสอบจะตัดให้มีขนาด 1×1 cm ใส่สารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 1×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยนำตัวอย่างที่ถูกแช่อยู่ในสารละลายเมทิลีนบลูไปปรับรังสียูวีขนาด 10 วัตต์ ที่มีความเข้มแสง 3.89 mW/cm^2 โดยความยาวคลื่นย่านยูวี (310-400 นาโนเมตร) จำนวน 5 หลอด วัดความเข้มสีของเมทิลีนบลูที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ดังรูปที่ 2.6 ทุกๆ 30 นาที จนครบ 4 ชั่วโมงแล้วบันทึกผลเพื่อศึกษาอัตราการลดลงของความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.6 เครื่อง UV-Vis Spectrometer Thermo Scientific Genesys 10UV

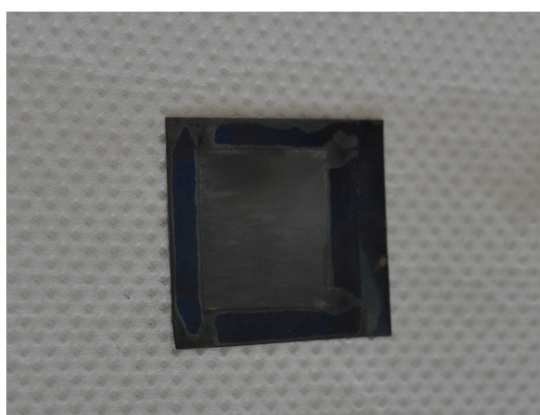
การคำนวณหาร้อยละของการ Degradation ของ เมทิลีนบลูโดยใช้สูตรคำนวณดัง
สมการที่ (2.3) (Zhiyuan และคณะ, 2007)

$$\% \text{ Degradation} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 1×10^{-5} โมลาร์
 C คือความเข้มข้น ณ เวลาทดสอบ (โมลาร์)

2.5 วิธีการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดย้อมสีไวแสง (DSSC)

ภายหลังจากที่ได้ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 2.7



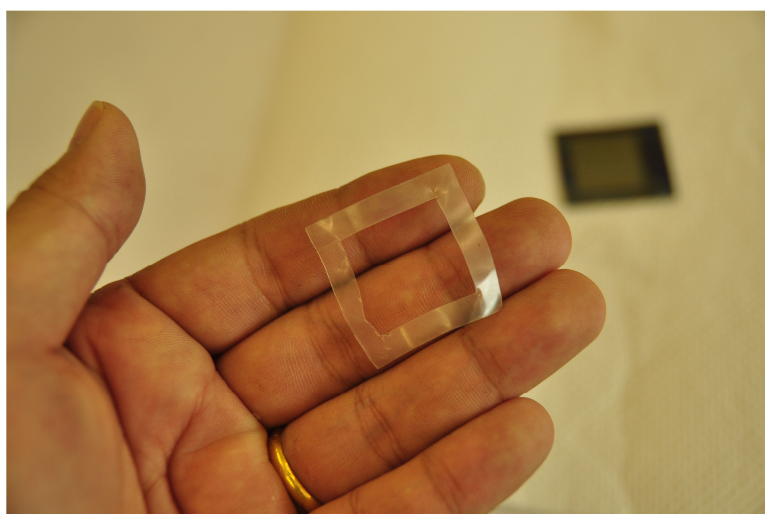
รูปที่ 2.7 แผ่นไทเทเนียมหลังจากทำการทดลองและผ่านกระบวนการทางความร้อน

จากนั้นนำชิ้นงานไปแช่ใน Dye เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดสีเข้าไปกับท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เมื่อได้เวลาตามที่กำหนดแล้ว ทำการล้างด้วย เอทานอล เพื่อเอาเม็ดสีที่ไม่เกาะกับท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ออกแล้วปล่อยให้แห้งดังรูปที่ 2.8



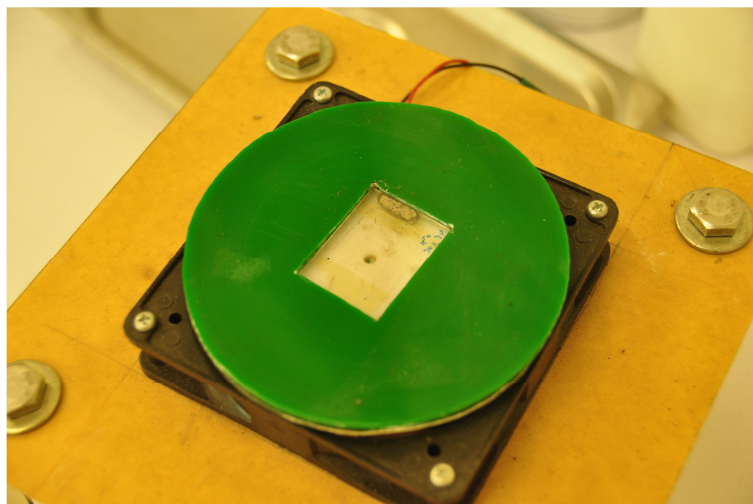
รูปที่ 2.8 การย้อมสีของแผ่นไทเทเนียมเพื่อนำไปประกอบเป็เซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อตัวอย่างที่ผ่านการย้อมสีแห้งแล้วนำไปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่นๆ โดยมีเทอร์โมพลาสติกซีลแล้น ตัดให้มีลักษณะดังรูปที่ 2.9



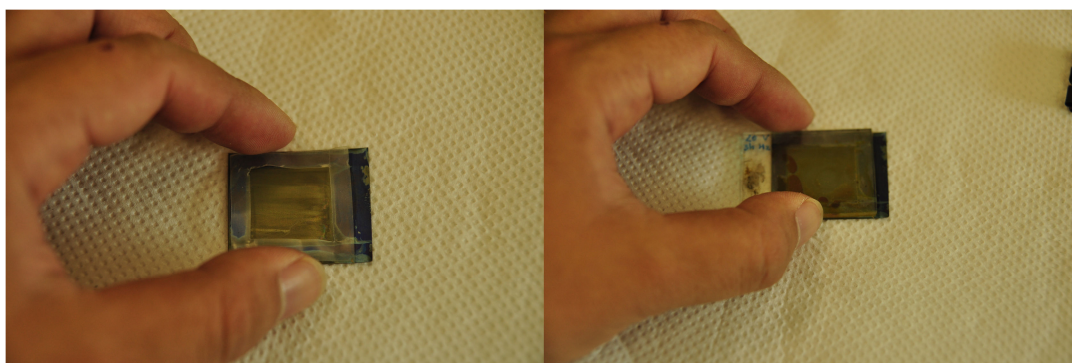
รูปที่ 2.9 ลักษณะการตัดแผ่นเทอร์โมพลาสติก

จากนั้นนำไปประกบเข้ากับชิ้นงานที่เป็นแผ่นไทเทเนียมแล้วนำกระจกนำไฟฟ้าที่ผ่านการสปินโค้ดด้วยสารละลายของ แพทตินัม ดังรูปที่ 2.10



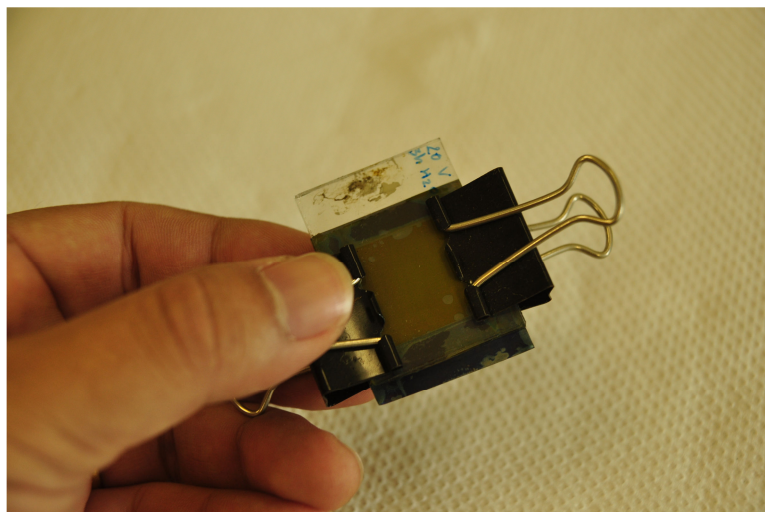
รูปที่ 2.10 เครื่องสปินโค้ด เพื่อใ้กระจกที่นำไฟฟ้ามีแพทตินัมเคลือบอยู่

จากนั้นนำทั้งสามส่วนมาประกบกัน โดยหดยดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของไอโอดายที่ช่องว่างระหว่างชั้นของแผ่นไทเทเนียมกับกระจกนำไฟฟ้าที่เคลือบด้วยแพทตินัมดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการวางแต่ละชั้นของการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์

นำตัวหนีบมาหนีบที่ด้านข้างของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองด้านเพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์
กระจายไปทั่วบริเวณดังรูปที่ 2.12



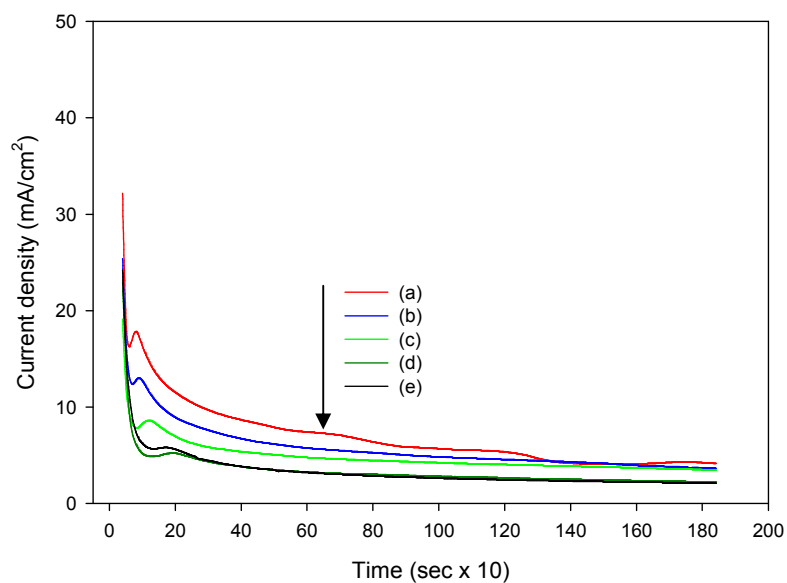
รูปที่ 2.12 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดขั้วมสึไวแสงที่เสร็จสมบูรณ์

บทที่ 3

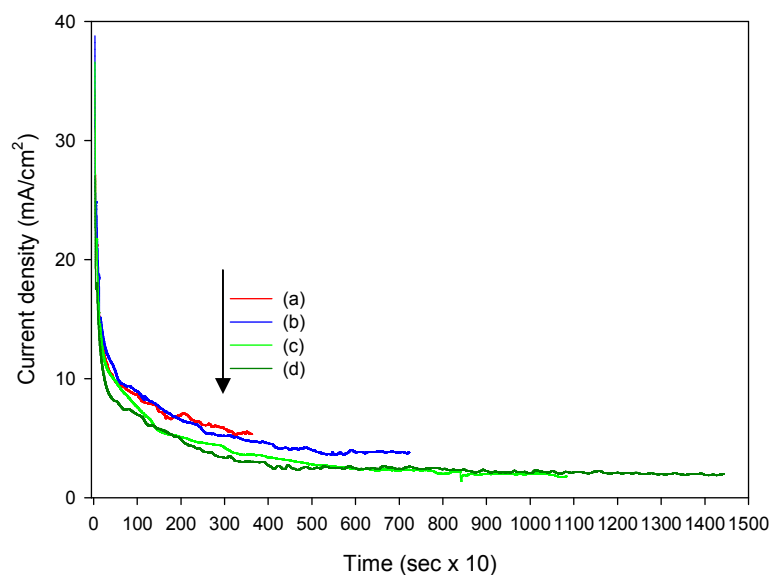
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นผลการวิเคราะห์เฟสของสารประกอบที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วย Anodization โดยแปรค่าอุณหภูมิ เวลา และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ส่วนที่ 2 เป็นผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่ได้จากการสังเคราะห์ของ TiO_2 nanotube ด้วยวิธี Anodization ส่วนที่ 3 เป็นผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของ TiO_2 nanotube ด้วยวิธี Anodization ดังรูปที่ 3.1-3.3 เป็นกราฟแสดงผลการวัดค่าการนำไฟฟ้าขณะทำการทดลองตามสถานะที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น

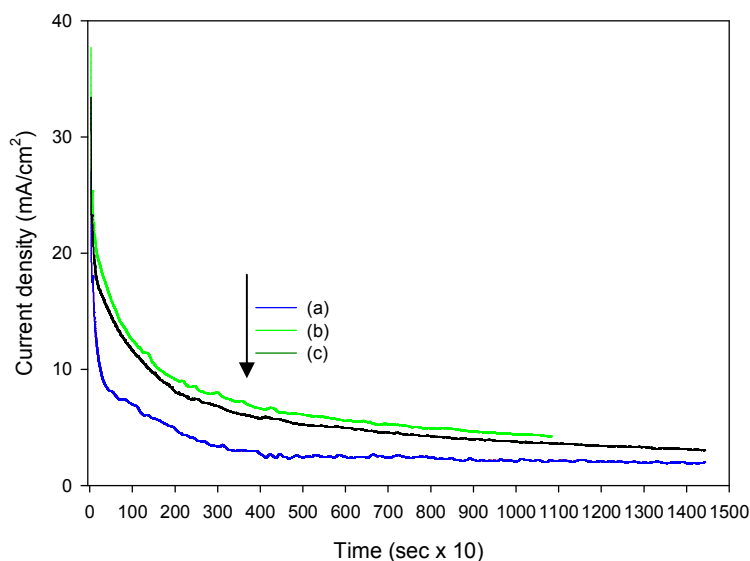
จากผลทางไฟฟ้าที่ได้ขณะทำการทดลองจากกราฟสามารถแบ่งได้เป็นสามส่วน นั่นคือ ส่วนแรกตั้งแต่เริ่มทำการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว นั่นเป็นเพราะโลหะไทเทเนียมที่ใช้ในการทดลองเริ่มมีการสร้างชั้นออกไซด์อย่างต่อเนื่อง ส่วนที่สองจะเห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าเริ่มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากที่ลดลงอย่างรวดเร็วจากส่วนแรกเนื่องมาจากเกิดการทำลายชั้นผิวออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากส่วนแรกและในขณะเดียวกันก็มีการสร้างชั้นออกไซด์เพิ่มเติมไปด้วย ส่วนที่สามเป็นส่วนที่มีสถานะการนำไฟฟ้าของโลหะไทเทเนียมเริ่มคงที่เนื่องมาจากการเติบโตของชั้นออกไซด์และการกำจัดชั้นออกไซด์มีอัตราที่เท่ากันทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มคงที่ (Haripriya และคณะ 2007)



รูปที่ 3.1 ค่าการนำไฟฟ้าทำการทดลองด้วยวิธี Anodization ในสารละลาย NH_4F ที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิของสารละลาย (a) 45 องศาเซลเซียส (b) 40 องศาเซลเซียส (c) 35 องศาเซลเซียส (d) 30 องศาเซลเซียส และ (e) 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.2 ค่าการนำไฟฟ้าทำการทดลองด้วยวิธี Anodization ในสารละลาย NH_4F ที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ อุณหภูมิของสารละลาย 45 องศาเซลเซียส เวลาในการสังเคราะห์ (a) 60 นาที (b) 120 นาที (c) 180 นาที และ (d) 240 นาที



รูปที่ 3.3 ค่าการนำไฟฟ้าทำการทดลองด้วยวิธี Anodization ในสารละลาย NH_4F อุณหภูมิของสารละลาย 45 องศาเซลเซียส เมื่อ (a) เวลา 180 นาทีที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ (b) เวลา 240 นาทีที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์และ (c) 240 นาทีแรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์

3.1 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วยวิธี Anodization

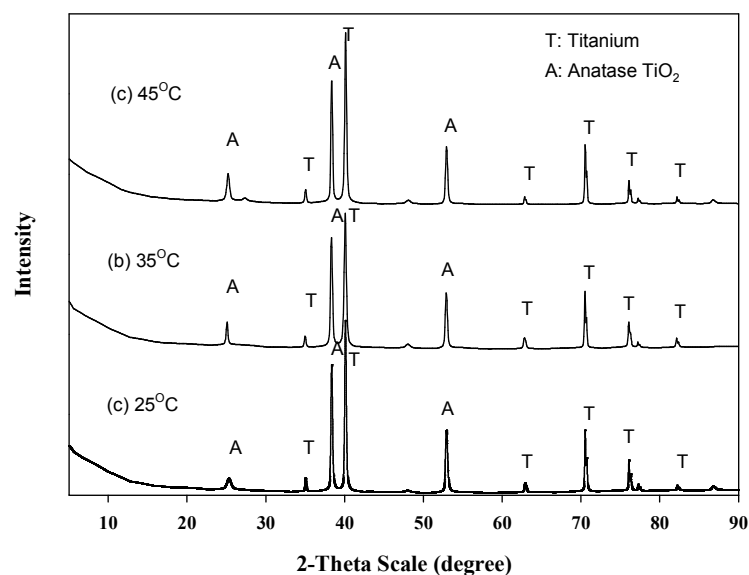
ในการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube โดยใช้วัสดุตั้งต้นเป็นแผ่นไทเทเนียมที่มีขนาดความหนา 0.25 ไมโครเมตร โดยการสังเคราะห์ด้วยวิธี Anodization ซึ่งแปรค่าอุณหภูมิ เวลาในการทดลองและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมีผลต่อการเกิดเฟสของสารประกอบจากกระบวนการดังกล่าว

3.1.1 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์โดยการแปรค่าอุณหภูมิ

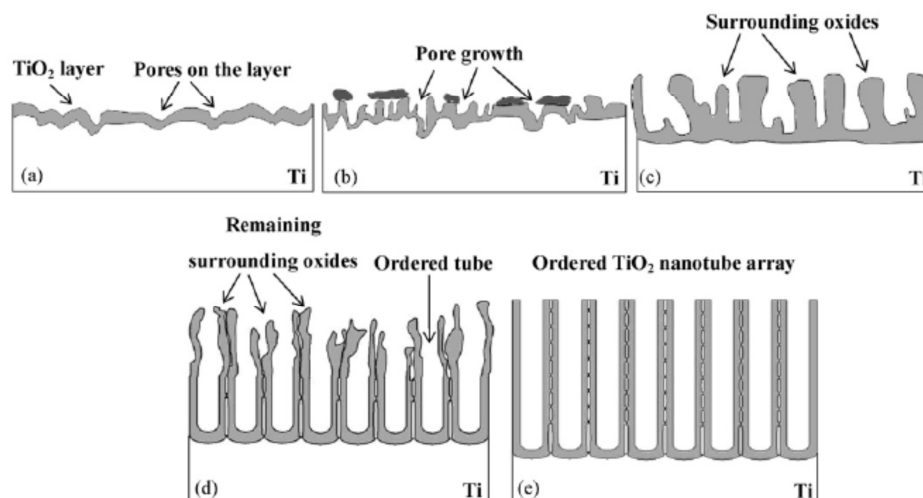
การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและเฟสของสารประกอบจากกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าอุณหภูมิที่ 25, 30, 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส โดยใช้แรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์ที่ 20 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที โดยงานวิจัยของ Ruixia และคณะ (2008) กล่าวว่า ที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนหลังการ Anodization ที่ 300 องศาเซลเซียส จะพบเฟสอะนาทาสและรูไทล์ของ ไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 450 องศาเซลเซียส จะพบเพียงเฟสอะนาทาสของไทเทเนียมไดออกไซด์เท่านั้น ดังนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ดังแสดงในรูปที่

3.4 จากการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วยกระบวนการ Anodization ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าซึ่งเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนโดยกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดชั้นออกไซด์ขึ้นในช่วงแรกจากนั้นฟลูออไรด์ที่อยู่ในสารละลายจะทำการเจาะ (Pitting) ให้เกิดรูขึ้นไปพร้อมกับการสร้างชั้นออกไซด์โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นพร้อมๆกันและจะสิ้นสุดเมื่ออัตราการเกิดออกไซด์และอัตราการเจาะเท่ากัน (Yang และคณะ, 2009) ดังรูปที่ 3.5

จะเห็นว่าพีคของกราฟ XRD ที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสมีผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากโดยที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 25 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณเฟสอะนาเทส 10.44 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 35 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณเฟสอะนาเทส 24.98 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 45 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณเฟสอะนาเทส 31.52 เปอร์เซ็นต์ จึงยืนยันได้ว่าภายหลังจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการ Anodization ในสารละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบทำให้เกิดเฟสอะนาเทสซึ่งเป็นเฟสหนึ่งของไทเทเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 3.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (a) อุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส (b) อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 35 องศาเซลเซียส และ (c) อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 45 องศาเซลเซียส



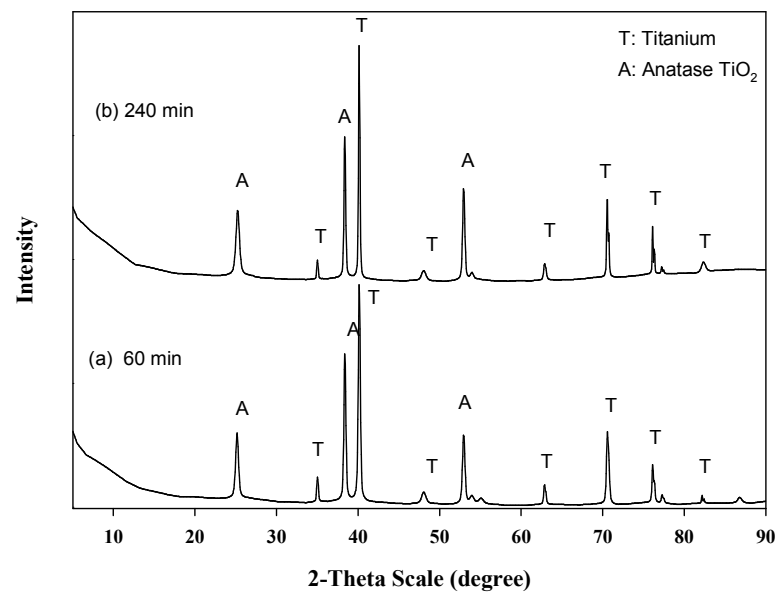
รูปที่ 3.5 รูปแบบการเกิดท่อ (a) เกิดชั้นออกไซด์ที่บริเวณผิวของแผ่นไทเทเนียม (b) ฟลูออไรด์เข้าไปเจาะชั้นผิวออกไซด์ (c) เกิดการงอกของชั้นผิวออกไซด์ (d) เกิดการจัดเรียงตัวพร้อมกับการงอกของชั้นผิวออกไซด์และ (e) การจัดเรียงตัวเสร็จสมบูรณ์โดยที่อัตราการงอกเท่ากับอัตราการเจาะ

(ที่มา : Yang และคณะ, 2009)

3.1.2 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์โดยการแปรค่าเวลาในการทดลอง

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและเฟสของสารประกอบจากกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าเวลาที่ 60, 120, 180 และ 240 นาทีโดยใช้แรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์ที่ 20 โวลต์ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสโดยนำตัวอย่างที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 3.6

จะเห็นว่าพีคของกราฟ XRD ที่เวลาในการสังเคราะห์ที่ 60 และ 240 นาทีมีผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนักโดยเวลาในการสังเคราะห์ที่ 60 นาที ได้ปริมาณเฟสอะนาเทส 5.45 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เวลาในการสังเคราะห์ที่ 240 นาที ได้ปริมาณเฟสอะนาเทส 28.16 เปอร์เซ็นต์ จึงยืนยันได้ว่าภายหลังจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการ Anodization ในสารละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบทำให้เกิดเฟสอะนาเทสซึ่งเป็นเฟสหนึ่งของไทเทเนียมไดออกไซด์

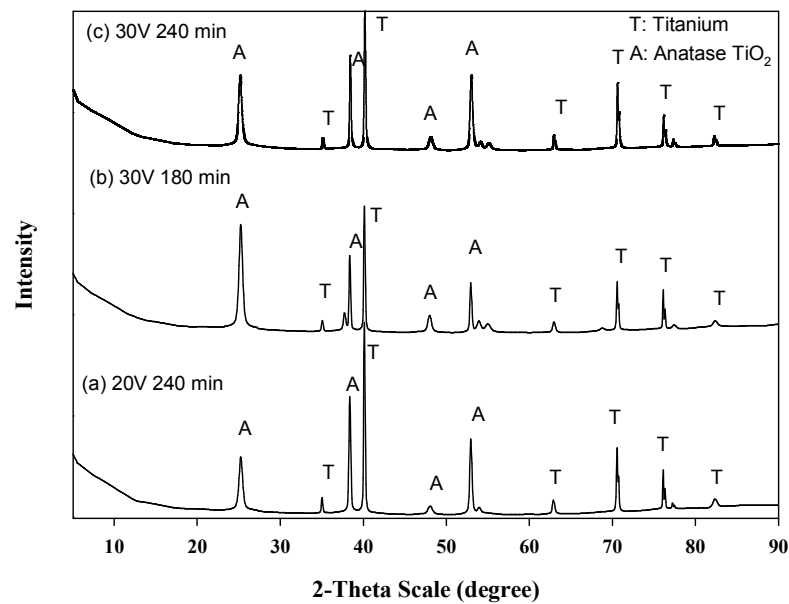


รูปที่ 3.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (a) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 60 นาที และ (b) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที

3.1.3 ผลการวิเคราะห์เฟสที่เกิดขึ้นหลังจากสังเคราะห์โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลอง

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและเฟสของสารประกอบจากกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 30 โวลต์โดยใช้เวลาในการสังเคราะห์ 180 และ 240 นาที ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส โดยนำตัวอย่างที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ดังรูปที่ 3.7

จะเห็นว่าฟิคของกราฟ XRD ที่เวลาในการสังเคราะห์ที่ 180 และ 240 นาทีที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ มีผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนักโดยที่เวลาในการสังเคราะห์ที่ 180 นาที ได้ปริมาณเฟสอะนาเทส 2.56 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการสังเคราะห์ที่ 240 นาที ได้ปริมาณเฟสอะนาเทส 12.3 เปอร์เซ็นต์ จึงยืนยันได้ว่าภายหลังจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการ Anodization ในสารละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบทำให้เกิดเฟสอะนาเทสซึ่งเป็นเฟสหนึ่งของไทเทเนียมไดออกไซด์



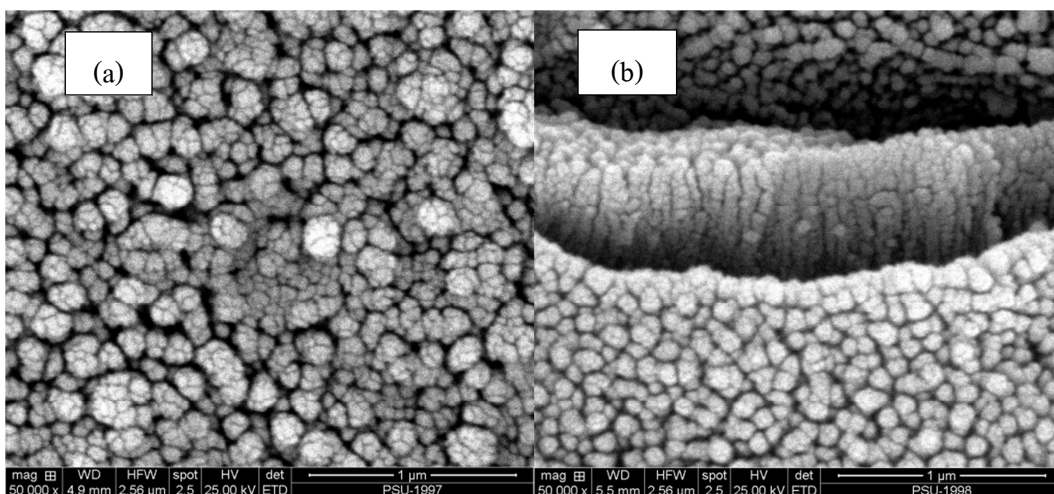
รูปที่ 3.7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (a) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที ที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ (b) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 180 นาที ที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ และ (c) ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที ที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์

3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจากการสังเคราะห์ TiO₂ nanotube ด้วยวิธี Anodization

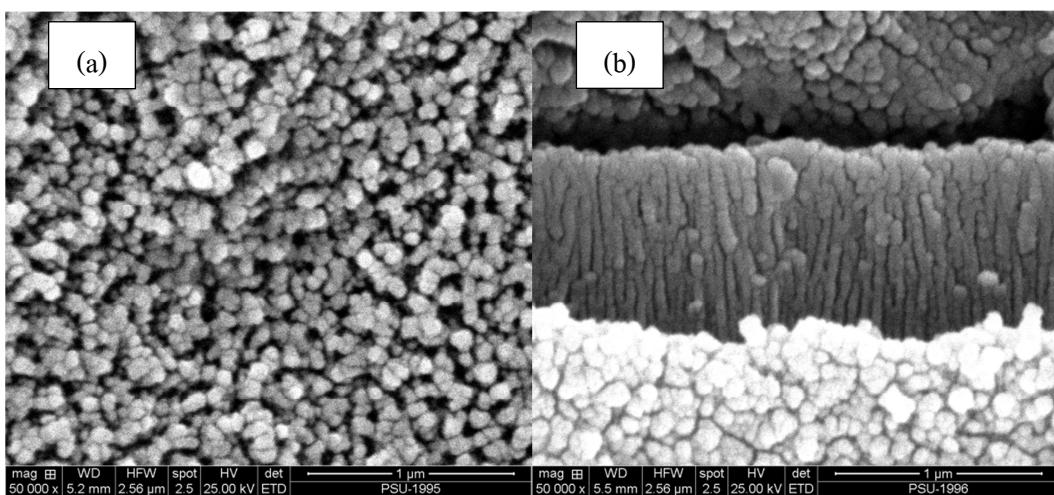
ผลจากการสังเคราะห์ TiO₂ nanotube ด้วยวิธี Anodization นำมาทดสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง SEM โดยตัวอย่างที่ถูกทดสอบจะถูกนำไปเคลือบผิวด้วยทองคำเพื่อให้ชิ้นงานนำไฟฟ้าได้ดี

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจากการสังเคราะห์โดยการแปรค่าอุณหภูมิ

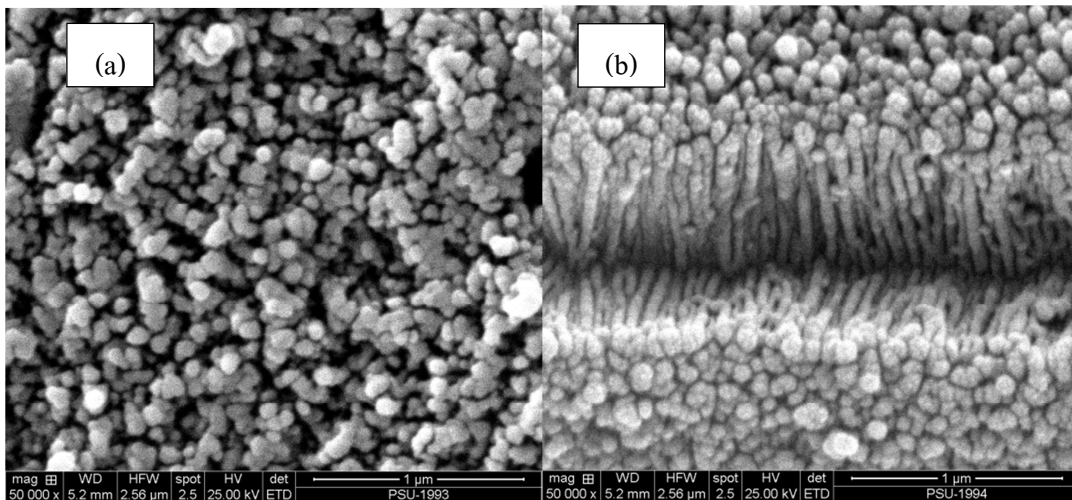
การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคจากกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าอุณหภูมิที่ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยใช้แรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์ที่ 20 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที โดยนำตัวอย่างที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ได้ความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 500, 800 และ 600 นาโนเมตรตามลำดับ ดังภาพถ่ายแสดงในรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 โดยงานวิจัย



รูปที่ 3.8 แสดงภาพถ่าย SEM โดยอุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ที่ 25 องศาเซลเซียส (a) Top view และ (b) Cross section



รูปที่ 3.9 แสดงภาพถ่าย SEM โดยอุณหภูมิของสารละลายในสังเคราะห์ที่ 35 องศาเซลเซียส (a) Top view และ (b) Cross section

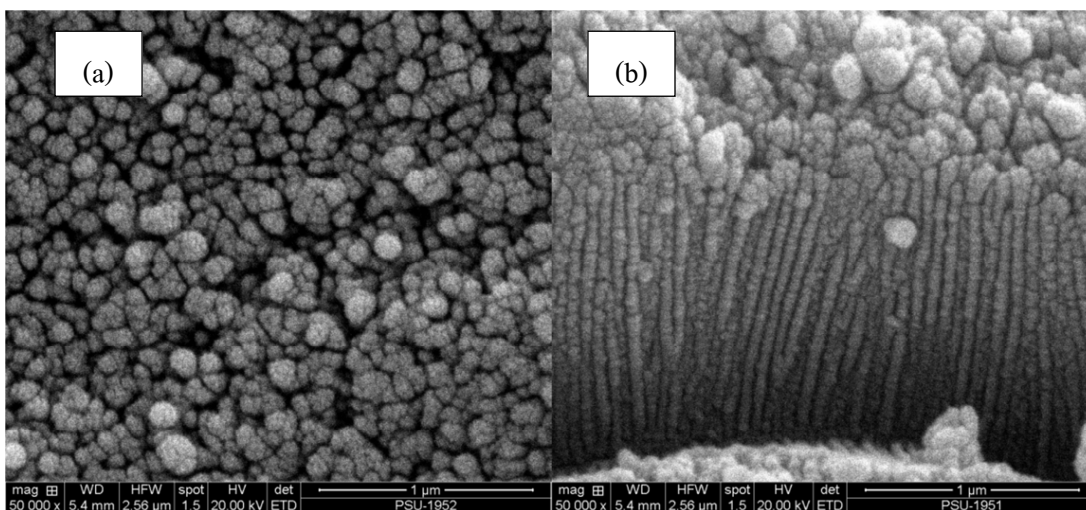


รูปที่ 3.10 แสดงภาพถ่าย SEM โดยอุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ที่ 45 องศาเซลเซียส
(a) Top view และ (b) Cross section

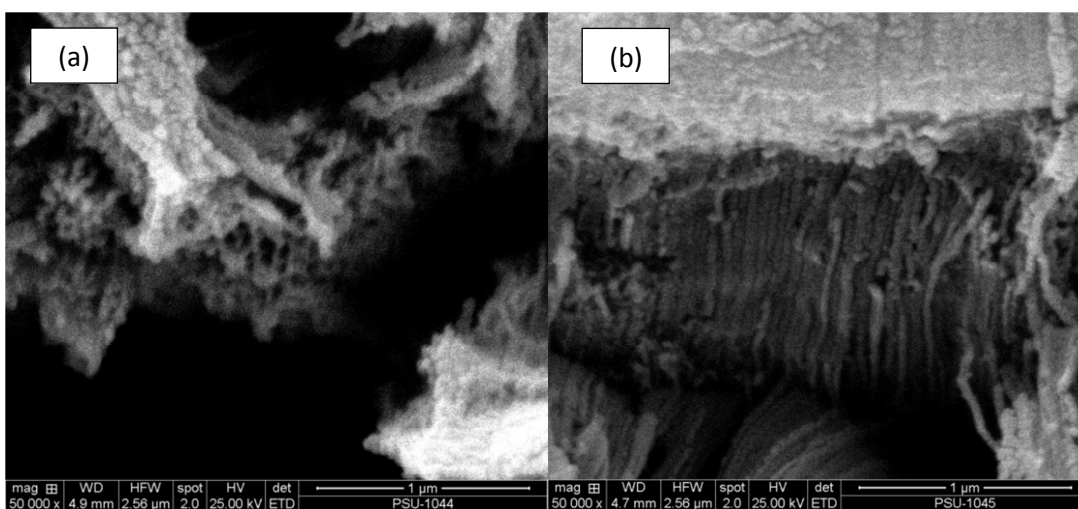
ของ Ruixia และคณะ (2008) กล่าวว่า หลังจากที่ได้ทำการสังเคราะห์แผ่นไทเทเนียมให้เป็นท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีอโนไดซ์เซชัน ในสารละลายที่มีกรดไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ เวลา 30 นาที โดยปรับอุณหภูมิของสารละลายที่ 0, 15, 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ความยาวของท่อที่ได้มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจากการสังเคราะห์โดยการแปรค่าเวลาในการทดลอง

การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคจากกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าเวลาในการทดลองที่ 60 และ 240 นาทีโดยใช้แรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์ที่ 20 โวลต์ อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 45 องศาเซลเซียส โดยนำตัวอย่างที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ได้ความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ 1.2 และ 1.5 ไมโครเมตรตามลำดับ ดังภาพถ่ายแสดงในรูปที่ 3.11 และ 3.12 โดยงานวิจัยของ Rajini และคณะ (2012) กล่าวว่า หลังจากที่ได้สังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกระบวนการอโนไดซ์เซชันจากแผ่นไทเทเนียม ในสารละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์ผสมอยู่ ด้วยแรงดันไฟฟ้า 40 โวลต์ เวลาในการสังเคราะห์ 1, 2, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240 และ 360 นาที พบว่า ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะเกิดเป็นรูปทรงท่อเมื่อเวลาในการ



รูปที่ 3.11 แสดงภาพถ่าย SEM ที่เวลาในการสังเคราะห์ 60 นาที (a) Top view และ (b) Cross section



รูปที่ 3.12 แสดงภาพถ่าย SEM ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที (a) Top view และ (b) Cross section

สังเคราะห์ประมาณ 25 นาทีและจะเพิ่มความยาวของท่อมากขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น

3.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นหลังจากการสังเคราะห์โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลอง

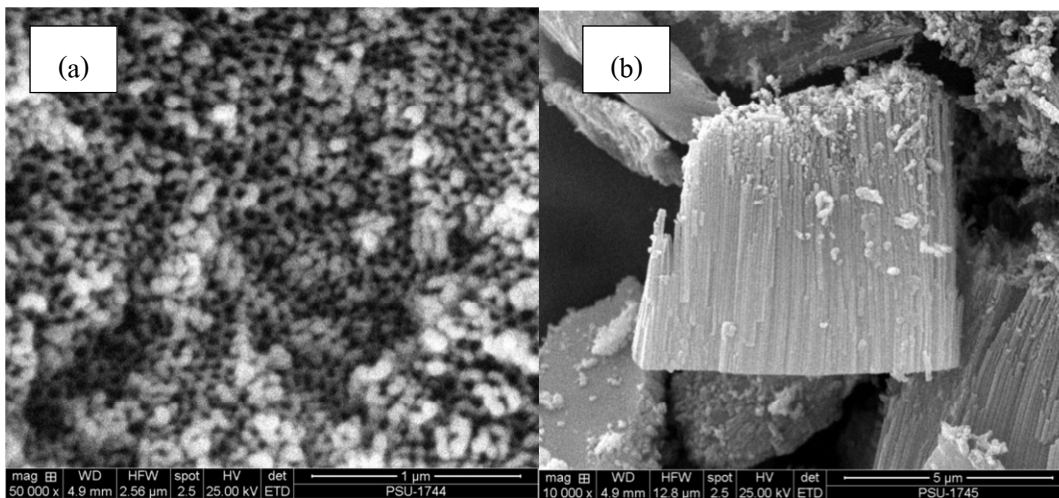
การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคจากกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 30 โวลต์โดยใช้เวลาในการสังเคราะห์ 180 และ 240 นาที อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 45 องศาเซลเซียส โดยนำตัวอย่างที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ได้ความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ 5.6 และ 4 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังภาพถ่ายแสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.14 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าท่อนาโนที่เกิดขึ้น มีความเป็นระเบียบและมีลักษณะปลายท่อเปิดมากกว่าการสังเคราะห์ที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์โดยงานวิจัยของ Macak และคณะ (2007) กล่าวว่าหลังจากที่ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกระบวนการอะโนไดซ์เซชัน โดยการปรับเปลี่ยนแรงดัน พบว่า การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในกระบวนการอะโนไดซ์เซชันจะส่งผลให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้นจาก 15-120 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจาก 1-25 โวลต์

3.3 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก

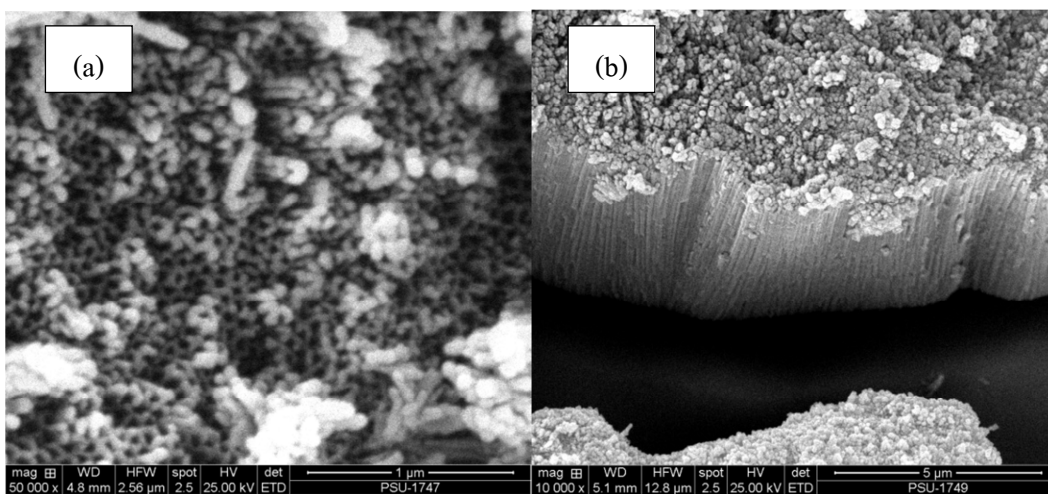
การทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก โดยการวัดการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ทุกๆ 30 นาที จนครบ 4 ชั่วโมง โดยทำการทดลองภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตขนาด 10 วัตต์ จำนวน 5 หลอด โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ เวลาและแรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์ด้วยวิธี Anodization โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการแปรค่าอุณหภูมิ

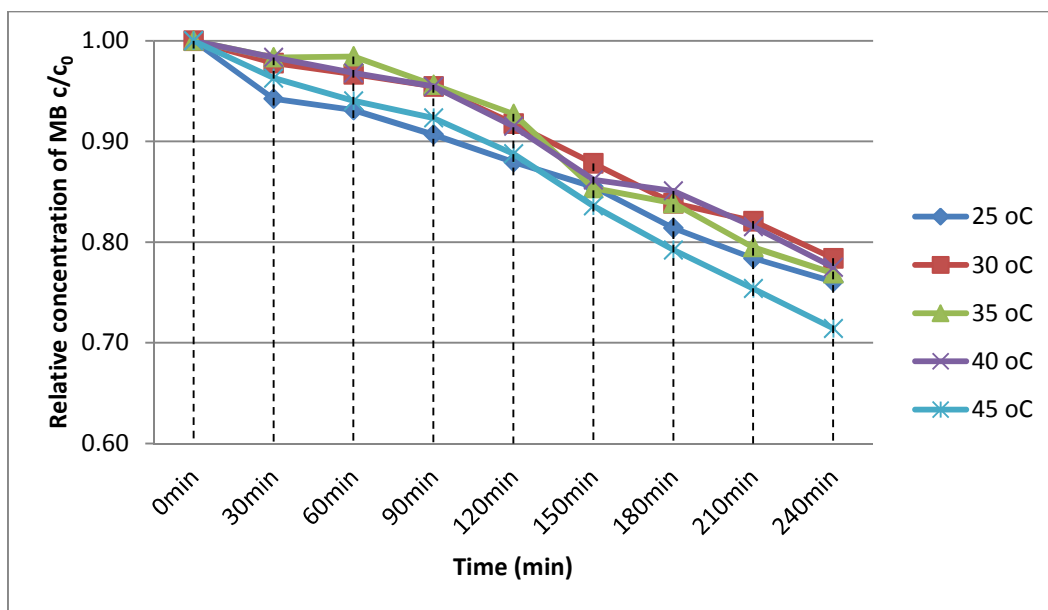
จากการทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของ TiO_2 nanotube ซึ่งตัดให้มีขนาดเท่าๆกันที่ $1 \times 1 \text{ cm}$ นำไปใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร ซึ่งมาสารละลายเมทิลีนบลูพบว่าการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของ TiO_2 nanotube โดยให้รังสีอุวีดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่าย SEM ที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์เวลาในการสังเคราะห์ 180 นาที (a) Top view และ (b) Cross section



รูปที่ 3.14 แสดงภาพถ่าย SEM ที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาที (a) Top view และ (b) Cross section



รูปที่ 3.15 อัตราการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของตัวแปรอุณหภูมิเมื่อเทียบความเข้มข้นของสารเมทิลีนบลูกับเวลาในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู

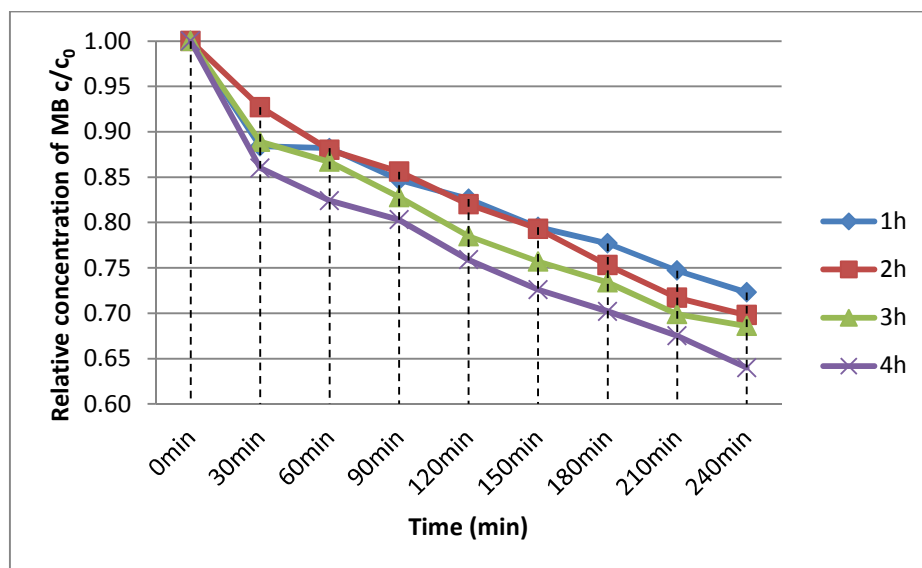
3.3.2 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการแปรค่าเวลาในการสังเคราะห์

จากการทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของ TiO_2 nanotube โดยสังเคราะห์ในตัวแปรเวลา และผ่านกระบวนการทางความร้อน ซึ่งตัดให้มีขนาดเท่าๆกันที่ 1×1 เซนติเมตรนำไปใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร ซึ่งมาสารละลายเมทิลีนบลูพบว่า การย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของ TiO_2 nanotube โดยให้รังสียูวี ดังรูปที่ 3.16

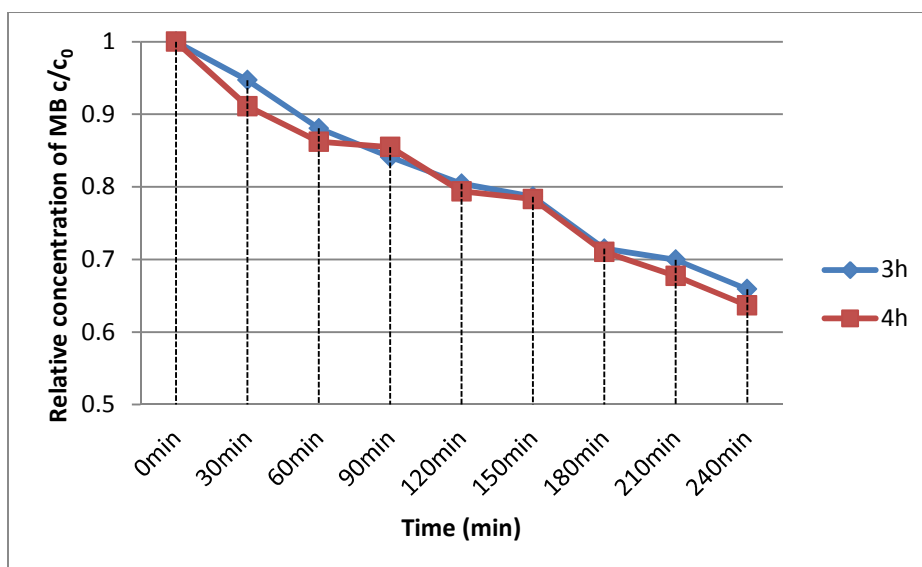
3.3.3 ผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์

จากการทดสอบปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของ TiO_2 nanotube โดยสังเคราะห์ในตัวแปรแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์ และผ่านกระบวนการทางความร้อน ซึ่งตัดให้มีขนาดเท่าๆกันที่ 1×1 เซนติเมตรนำไปใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร ซึ่งมาสารละลายเมทิลีนบลูพบว่า การย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของ TiO_2 nanotube โดยให้รังสียูวี ดังรูปที่ 3.17

การสังเคราะห์ TiO₂ nanotube ด้วยวิธี Anodization เพื่อปรับปรุงปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก ในรังสียูวี พบว่า การสังเคราะห์ TiO₂ nanotube ด้วย Anodization ยิ่งใช้เวลาในการสังเคราะห์นานรวมกับแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 3.16 อัตราการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของตัวแปรเวลาในการสังเคราะห์เมื่อเทียบความเข้มข้นของสารเมทิลีนบลูกับเวลาในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู



รูปที่ 3.17 อัตราการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของตัวแปรแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์เมื่อเทียบความเข้มข้นของสารเมทิลีนบลูกับเวลาในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลู

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผล

จากการทดลองในงานวิจัยนี้ สามารถสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วย Anodization โดยใช้แผ่นไทเทเนียมทางการค้าที่มีความหนา 0.25 ไมโครเมตรสังเคราะห์ในสารละลายที่มีแอมโมเนียมฟลูออไรด์เป็นส่วนประกอบ เพื่อศึกษาอุณหภูมิ เวลา และแรงดันไฟฟ้าในกระบวนการสังเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วย Anodization โดยการสังเคราะห์จะใช้อุณหภูมิที่ 25, 30, 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียสที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก ภายใต้รังสียูวีมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูที่ 25, 21, 24, 23 และ 29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยังสามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้เป็น TiO_2 nanotube จริงจากเทคนิค XRD และ SEM โดยที่เทคนิค XRD ได้ปริมาณเฟสอะนาทาสเพิ่มขึ้นจาก 10.44 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 25 องศาเซลเซียส เป็น 31.52 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 45 องศาเซลเซียส

4.1.2 ผลจากการทดลองแปรค่าเวลาในการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วยกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าเวลาที่ 60, 120, 180 และ 240 นาทีที่แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 45 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการย่อยสีเมทิลีนบลูอยู่ที่ 28, 30, 33 และ 37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยังสามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้เป็น TiO_2 nanotube จริงจากเทคนิค XRD และ SEM โดยที่เทคนิค XRD ได้ปริมาณเฟสอะนาทาสเพิ่มขึ้นจาก 5.45 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาการสังเคราะห์ 60 นาที เป็น 28.16 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาการสังเคราะห์ 240 นาที

4.1.3 ผลจากการทดลองแปรค่าเวลาในการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วยกระบวนการ Anodization โดยการแปรค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 30 โวลต์ที่ 180 และ 240 นาทีที่ อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 45 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการย่อยสลายที่ลิ้นบรูอยู่ที่ 35 และ 38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และยังสามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้เป็น TiO_2 nanotube จริงจากเทคนิค XRD และ SEM โดยที่ เทคนิค XRD ได้ปริมาณเฟสอะนาเทสเพิ่มขึ้นจาก 2.56 เปอร์เซ็นต์ จากเวลาในการสังเคราะห์ 180 นาที ที่แรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ เป็น 12.3 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการสังเคราะห์ 240 นาทีแรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์

4.2 ข้อเสนอแนะ

จากการสังเคราะห์ TiO_2 nanotube ด้วยวิธี Anodization พบว่ายิ่งอุณหภูมิในระหว่างการทำการสังเคราะห์สูงขึ้นยิ่งทำให้กระบวนการเกิดชั้นออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นดังเช่นเดียวกับการเพิ่มเวลาและแรงดันไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Anodization ทำให้เกิดเป็นท่อไทเทเนียมไดออกไซด์ แต่ในชุดการทดลองนี้ยังไม่สามารถควบคุมการเกิด TiO_2 nanotube ให้มีความสม่ำเสมอได้และยังไม่สามารถหาจุดที่เหมาะสมที่สุดได้จึงต้องมีการทดลองต่อเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดต่อไปโดย

1. เพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการทดลอง
2. เพิ่มอุณหภูมิของสารละลายในการทดลอง
3. เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์
4. เพิ่มปริมาณ DI water ที่เติมในสารละลาย

บรรณานุกรม

- ดร. สุเมธ ภูมิอิทธิติ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) โฟโตแคตาลิสต์ที่เคลือบด้วยอะพาไทต์(apatite) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2550
- Abu, Z.S., Haidong, Z., Kay L., Wojtek, W. and Kourosh, K. 2009. Anodization of Ti thin film Deposited on ITO. *Langmuir*. 25: 509-514.
- Ammar, E., Jun, Z., Fadlalla, H. M. H., Feng, Z., Hui, W., Xiaoxia, D., Zhixin, H. and Chengcun, T. 2008. Self-organized TiO₂ nanotubes with controlled dimensions by anodic oxidation. *J. Mater Sci*. 43:7219–7224.
- Guoge, Z., Huang, H., Zhang, Y., Chan, H.L.W. and Zhou, L. 2007. Highly ordered nanoporous TiO₂ and its photocatalytic properties. *Electrochemistry Communications*. 9:2854-2858.
- Hailei, L., Cao, L., Lui, W., Su, G. and Dong, B. 2012. Synthesis and investigation of TiO₂ nanutube arrays prepared by anodization and their photocatalytic activity. *Ceramics International*. 38:5791-5797.
- Han, Y. and Chunxu, P. 2009. Diameter-controlled growth of TiO₂ nanotube arrays by anodization and its photoelectric property. *J. Alloys and Compounds*.
- Haripriya, E., Shankar, P.K., Paulose, M., Oomman K. and Craig A.G. 2007 A New Benchmark for TiO₂ Nanotube Array Growth by Anodization. 111: 7235-7241.
- Jun, W. and Lin, Z. 2009. Anodic formation of ordered TiO₂ nanotube arrays: Effects of electrolyte temperature and anodization potential. *J. Phys. Chem*. 113: 4026-4030.
- Lai, Y.K., Sun, L., Chen, C., Nie, C.G., Zuo, J. and Lin, C.J. 2005. Optical and electrical characterization of TiO₂ nanotube arrays on titanium substrate. *Appl. Surface Sci*. 252: 1101–1106.
- Macak, J.M., Tsuchiya, H., Ghicov, A., Yasuda, K. and Schmuki, P. 2005. Dye-sensitized anodic TiO₂ nanotubes. *Electrochemistry Communications*. 7:1133-1137.

- Macak, J.M., Tsuchiya, H., Ghicov, A., Yasuda, K., Hahn, R., Bauer, S. and Schmuki, P. 2007
TiO₂ nanotubes: Self-organized electrochemical formation, properties and applications.
Current Opinion in Solid State and Materials Science. 11:3-8.
- Mihai, E., Steven-Kalceff, M., Tiginyanu, I. and Ursaki, V. 2010. Cathodoluminescence of TiO₂
nanotubes prepared by low-temperature anodization of Ti foils. Materials Letters.
64:2155-2158.
- Mohapatra, S.K.; Misra, M.; Mahajan, V.K. and Raja, K.S. 2007. A novel method for the synthesis
of titania nanotubes using sonoelectrochemical and its application for
photoelectrochemical splitting of water. J. Catal. 246 : 362-369.
- Palmas, S., Pozzo, A.D., Delogu, F., Mascia, M., Vacca, A. and Guisbiers, G. 2012.
Characterization of TiO₂ nanotubes obtained by electrochemical anodization in organic
electrolytes. J. Power Sources. 204:265-272.
- Rajini, P.A., Mathews, T., Dash, S., Tyagi, A.K. and Raj, B. 2012. X-ray photoelectron
spectroscopic studies of anodically synthesized self aligned TiO₂ nanotube arrays and the
effect of electrochemical parameters on tube morphology. Materials Chemistry and
Physics. 132: 957-966.
- Ruixia, G., Fu, W., Yang, H., Zhang, Y., Zhao, W., Liu, Z., Wang, C., Zhu, H., Yu, Q. and Zou,
G. 2008. Fabrication and characterization of highly ordered titania nanotubes via
electrochemical anodization. Materials Letters. 62:2688-2691.
- Srimala, S., Lockman, Z., Hazan, R., Tasbihi, M., Tong, L.K. and Mohamed, A.R. 2009.
Influence of electrolyte pH on TiO₂ nanotube formation by Ti anodization. J. Alloys and
Compounds. 485:478-483.
- Tayirjan, T.I., Rohani, S. and Ray, A.K. 2012. Photoelectrochemical water splitting for hydrogen
generation on highly ordered TiO₂ nanotubes fabricated by using Ti as cathode. Int. J.
Hydrogen Energy. 37:103-108.

- Vega, V., Cerdeira, M.A., Prida, V.M., Alberts, D., Bordel, N., Pereiro, R., Mera, F., Garcia, S., Hernandez-Veles, M. and Vazquez, M. 2008. Electrolyte influence on the anodic synthesis of TiO₂ nanotube arrays. *J Non-Crystalline Solids*. 354: 5233–5235.
- Xie, Z. B., Adams, S., Blackwood, D. J. and Wang, J. Anodized titania nanotube arrays and their application in dyesensitized solar cells National Univ. of Singapore, Department of Materials Science & Engineering, Singapore 117574.

ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณองค์ประกอบของเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวป์

การคำนวณปริมาณองค์ประกอบของเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวป์

การคำนวณปริมาณองค์ประกอบของเฟสของไทเทเนียมไดออกไซด์นาโนทิวป์โดยวิธีเชิงกิ่งปริมาณ โดยประมาณจากพื้นที่ใต้กราฟของพีคจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยใช้สูตรคำนวณ (ก1) และ (ก2)

$$R_{\text{anatase}} = \frac{A_{\text{anatase}}}{A_{\text{anatase}} + A_{\text{monoclinic}}} \times 100\% \quad (\text{ก1})$$

$$R_{\text{anatase}} = \frac{A_{\text{monoclinic}}}{A_{\text{anatase}} + A_{\text{monoclinic}}} \times 100\% \quad (\text{ก2})$$

เมื่อ R_{anatase} คือ ปริมาณ โครงสร้างผลึกแบบอะนาทาส

$R_{\text{monoclinic}}$ คือ ปริมาณ โครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก

A_{anatase} คือ พื้นที่ใต้กราฟของพีคนาทาส

$A_{\text{monoclinic}}$ คือ พื้นที่ใต้กราฟของพีคโมโนคลินิก

ภาคผนวก ข

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีเมทิลีนบลู

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีเมทิลีนบลู

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีเมทิลีนบลู โดยวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู ณ เวลาต่างๆ ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยใช้สูตรคำนวณ (ข1)

$$\% \text{ Degradation} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

เมื่อ C_0 คือความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 1×10^{-5} โมลาร์
 C คือความเข้มข้น ณ เวลาทดสอบ (โมลาร์)

ตารางที่ ข1 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู^a

Anodization method	C_0	C^b	% Degradation
25°C	9.616×10^{-5}	7.315×10^{-5}	23.93%
30°C	9.616×10^{-5}	7.538×10^{-5}	21.61%
35°C	9.616×10^{-5}	7.394×10^{-5}	23.11%
40°C	9.616×10^{-5}	7.453×10^{-5}	22.49%
45°C	9.616×10^{-5}	6.868×10^{-5}	28.58%

กำหนดให้ a คือ การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีอะโนไดซ์แซน โดยแปรค่าอุณหภูมิของสารละลายโดยที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 30 นาที, แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์

ตารางที่ ข2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู^b

Anodization method	C_0	C^b	%Degradation
60 นาที	9.87×10^{-5}	7.114×10^{-5}	27.62%
120 นาที	9.87×10^{-5}	6.895×10^{-5}	30.14%
180 นาที	9.87×10^{-5}	6.777×10^{-5}	31.34%
240 นาที	9.87×10^{-5}	6.317×10^{-5}	36.00%

กำหนดให้ b คือ การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีอะโนไดซ์เซชัน โดยแปรค่าเวลาในการสังเคราะห์ โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ อุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ 45°C

ตารางที่ ข3 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู^c

Anodization method	C_0	C^b	%Degradation
20 โวลต์, 240 นาที	9.87×10^{-5}	6.317×10^{-5}	36.00%
30 โวลต์, 240 นาที	9.902×10^{-5}	6.895×10^{-5}	36.34%
30 โวลต์, 180 นาที	9.902×10^{-5}	6.777×10^{-5}	34.08%

กำหนดให้ c คือ การสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีอะโนไดซ์เซชัน โดยแปรค่าแรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์ อุณหภูมิของสารละลายในการสังเคราะห์ 45°C

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายกิตติธรรม ศรีเมืองมาก

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210120059

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2549

ทุนการศึกษา(ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

- ทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทุนบัณฑิตวิทยาลัยภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU)

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

- Srimuangmak, K and Niyomwas, S. (2011), "Effects of Voltage and Addition of Water on Photocatalytic Activity of TiO₂ Nanotubes Prepared by Anodization Method" Energy Procedia, 9, 435-439.

- Srimuangmak, K and Niyomwas, S. (2012), "Study of Photocatalytic Activity of TiO₂ Nanotube Derived from Different Anodized Parameters" Advanced Materials Research, 488-489, 1519-1524.