



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

จอภาพทำความสะอาดตัวเองโดยเคลือบด้วยฟิล์มบาง TiO_2 Self Cleaning Screen Protector by Coating with TiO_2 Thin Films

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภาภรณ์ สกุดการะเวก

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

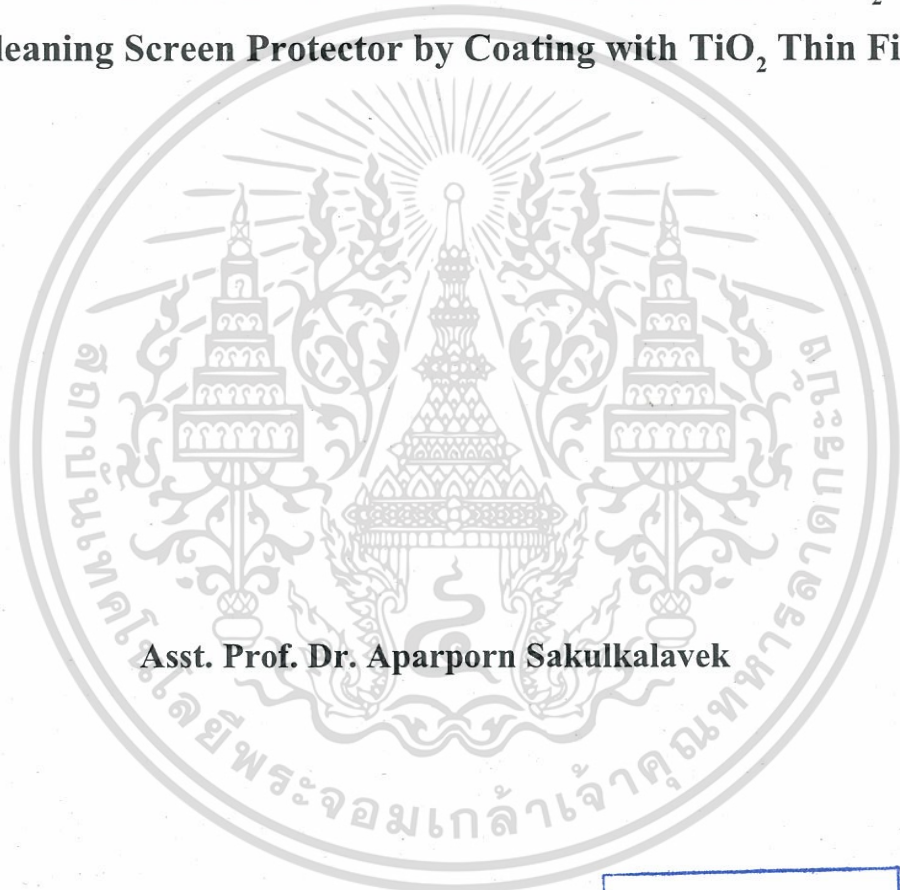


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

จอภาพทำความสะอาดตัวเองโดยเคลือบด้วยฟิล์มบาง TiO_2
Self Cleaning Screen Protector by Coating with TiO_2 Thin Films



Asst. Prof. Dr. Aparporn Sakulkalavek

b. 0026579
i.

เลขที่.....
เลขทะเบียน **148545**
ในเดือนปี **31 ต.ค. 2560**

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ จอภาพทำความสะอาดตัวเองโดยเคลือบด้วยฟิล์มบาง TiO_2

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้.....

ประจำปีงบประมาณ..... 2559..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... 50,000..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

..... อภาภรณ์ สกุลกระแวก สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า

คุณทหารลาดกระบัง.....

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาระยะการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยวิธีการอนิโดเซชันซึ่งในกระบวนการสังเคราะห์จะใช้แผ่นไทเทเนียมไดออกไซด์และแท่งแกรไฟต์เป็นขั้วแอโนดและแคโทด ตามลำดับโดย สารละลายอิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วย ethylene glycol, ammonium fluoride และน้ำปราศจากไอออน โดยจะทำการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ ระหว่าง 20, 25 และ 30 โวลต์ และค่ากระแสไฟฟ้าจะถูกบันทึกข้อมูลลงใน NI ที่ได้มาในระหว่างช่วงกระบวนการสังเคราะห์ ผลกระทบจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในการอนิโดเซชัน ส่งผลโดยตรงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ตลอดจนค่ามุมสัมผัส ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดได้แสดงการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เปลี่ยนไปจาก 30 ถึง 70 nm และความยาวท่อเปลี่ยนไปจาก 1.3 – 2.4 μm และค่ามุมของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลง จาก 110° เป็น 92° อย่างไรก็ตามจะพบปัญหาในการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบที่พบในท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เราจึงเสนอแนะแนวทางโดยการทำพื้นผิวตั้งต้นให้มีความเรียบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียงตัวให้มีความเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ:ไทเทเนียมไดออกไซด์, ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์, อนิโดเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Self Cleaning Screen Protector by Coating with TiO₂ Thin Films

Researcher:.....Aparporn Sakulalavek.....

Faculty:Science.....**Department:**Physics.....

Abstract

In this project, TiO₂ nanotubes were fabricated by anodization technique. For fabrication process, titanium sheet and graphite electrode were used as anode and cathode, respectively. An electrolyte contains ethylene glycol, ammonium fluoride and de-ion water. Anodization voltages are varied between 20, 25, and 30 V and current was recorded by NI data acquisition during fabrication process. The effects of anodization voltage on TiO₂ nanotube diameter and length, as well as contact angle were investigated. The scanning electron microscope images show that increasing voltage enhances TiO₂ nanotube diameter from 30 to 70 nm and length from 1.3 to 2.4 μm. And, the contact angle of TiO₂ nanotube decreases with the anodization voltage from 110° to 92°. We suggest to replace substrate with smoother substrate for increasing the uniformity.

Keywords: Titaniumdioxide, Titaniumdioxide nano tube, anodization

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ ที่ให้ความอนุเคราะห์สอนการใช้โปรแกรม Lab View และให้คำปรึกษาด้านการออกแบบระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559



อาภาภรณ์ สกกุลกระเวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขต.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 กระบวนการแอนโนไดเซชัน.....	2
2.2 กลไกการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂ Nanotube).....	3
2.2.1 การก่อตัวของชั้นฟิล์มออกไซด์.....	4
2.2.2 เกิดหลุมขนาดเล็กบนชั้นฟิล์มออกไซด์.....	4
2.2.3 การขยายตัวของรูพรุน.....	5
2.2.4 การเกิดช่องระหว่างรูพรุน.....	5
2.2.5 การเกิดเป็นท่ออย่างสมบูรณ์.....	6
2.3 คุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide Property).....	6
2.3.1 คุณสมบัติเฉพาะ.....	7
2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล.....	7
2.3.3 ด้านความปลอดภัย.....	7
2.3.4 ประโยชน์ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	7
2.3.5 ชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์แบ่งตามโครงสร้างของผลึก.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ผล.....	9
2.4.1 Scanning Electron Microscope.....	9
2.4.2 Atomic Force.....	11
2.4.3 การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction :XRD).....	13
2.4.4 Field Emission Scanning electron Microscope (FESEM).....	15
2.5 โปรแกรม Labview.....	17
2.5.1 ข้อดี.....	17
2.5.2 หลักการเขียนแบบ DATA FLOW.....	18
2.5.3 ส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW.....	18
2.5.4 ระบบ DAQ บน PC.....	22
2.6 Hole บนแผ่น Platter media.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 กำหนดการและระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	24
3.2 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	25
3.2.1 ส่วนของการออกแบบ.....	25
3.2.2 ส่วนของการทดลอง.....	25
3.3 ส่วนของการทดลอง.....	25
3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย.....	25
3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	26
3.3.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำวิจัย.....	26
3.3.4 เครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัย.....	27
3.4 หลักการและวิธีการดำเนินงาน.....	27
3.4.1 ทำการออกแบบฝาครอบปีกเกียร์.....	27
3.4.2 ทำการออกแบบและสร้างโปรแกรมสำหรับอ่านและบันทึกค่ากระแส.....	28
3.4.3 สร้างฝาครอบปีกเกียร์ตามแบบที่ทำการออกแบบไว้.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.4 วิธีการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์โดยวิธีการโหนดเซชัน.....	31
3.4.5 นำชิ้นงานไปตรวจสอบการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์.....	32
3.4.6 สรุปรายการทดลอง.....	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	33
4.1 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองโดยใช้เวลา 105 นาที.....	33
4.1.1 ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	33
4.1.2 ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	34
4.1.3 ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	34
4.2 พื้นผิวของชิ้นงานก่อนและหลังโหนดเซชันด้วยกล้องไมโครสโคป.....	35
4.2.1 ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	35
4.2.2 ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	36
4.2.3 ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	36
4.3 ภาพแสดงลักษณะการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM.....	37
4.3.1 ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	37
4.3.2 ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	38
4.3.3 ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	38
4.4 แสดงภาพการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง FESEM.....	39
4.4.1 ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	39
4.4.2 ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	40
4.4.3 ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	40
4.5 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ของชิ้นงานจากเครื่อง FESEM.....	41
4.5.1 ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	41
4.5.2 ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	41
4.5.3 ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและเส้นผ่านศูนย์กลาง.....	42
4.6 แสดงความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จากเครื่อง SEM.....	43
4.6.1 ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	43
4.6.2 ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	43
4.6.3 ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	44
4.6.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความยาวท่อTiO ₂	44
4.7 แสดงมุมของน้ำบนพื้นผิวชิ้นงานเพื่อทดสอบคุณสมบัติความเป็นไฮโดรโฟบิก.....	45
4.7.1 ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	45
4.7.2 ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	46
4.7.3 ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	46
4.7.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและมุมของน้ำ ของบนผิวชิ้นงาน.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางที่ 3.1 แสดงกำหนดการและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยทั้งหมด.....	23
1.2 ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 รูปที่ 2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	2
1.2 รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในขั้วแอโนดและขั้วแคโทด.....	3
1.3 รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดท่อไทเทเนียมไดออกไซด์.....	3
1.4 รูปที่ 2.4 การก่อตัวของชั้นฟิล์มออกไซด์.....	4
1.5 รูปที่ 2.5 เกิดหลุมขนาดเล็กบนชั้นฟิล์มออกไซด์.....	5
1.6 รูปที่ 2.6 การขยายตัวของรูพรุน.....	5
1.7 รูปที่ 2.7 การเกิดช่องระหว่างรูพรุน.....	6
1.8 รูปที่ 2.8 การเกิดเป็นท่ออย่างสมบูรณ์.....	6
1.9 รูปที่ 2.9 ชนิดของไทเทเนียม.....	9
2.0 รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM.....	10
2.1 รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่อง SEM.....	11
2.2 รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่อง AFM.....	12
2.3 รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเครื่องที่ใช้หลักการของ XRD.....	14
2.4 รูปที่ 2.14 การทำงานของ XRD.....	15
2.5 รูปที่ 2.15 ภาพที่ได้จากหัววัดแบบต่างๆ.....	17
2.6 รูปที่ 2.16 Block Diagram เครื่องมือวัดที่สร้างจาก LabVIEW.....	18
2.7 รูปที่ 2.17 Front Panel ของ Labview.....	19
2.8 รูปที่ 2.18 Block Diagram ของ Labview.....	20
2.9 รูปที่ 2.19 Block Diagram ของ Labview ที่มีการทำงานจริง.....	20
3.0 รูปที่ 2.20 ตัวอย่าง Block Diagram Node.....	21
3.1 รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของระบบ DAQ.....	22
3.2 รูปที่ 2.22 แสดงอัตราส่วนระยะห่างระหว่างท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์.....	23
3.3 รูปที่ 3.23 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย.....	24
3.4 รูปที่ 3.24 แสดงสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	24
3.5 รูปที่ 3.25 เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำวิจัย.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 รูปที่ 3.26 แบบร่างหน้าตาของฝาครอบปีกเกอร์.....	27
3.7 รูปที่ 3.27 แผนผังความคิด (flow chart) การออกแบบโปรแกรม.....	28
3.8 รูปที่ 3.28 หลักการทำงานของโปรแกรม.....	29
3.9 รูปที่ 3.29 ฝาครอบปีกเกอร์.....	30
3.10 รูปที่ 3.30 ด้ามจับชิ้นงาน.....	30
3.11 รูปที่ 3.31 การประกอบฝาครอบปีกเกอร์กับด้ามจับชิ้นงาน.....	31
3.12 รูปที่ 3.32 การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนทำการทดลองด้วยอะซิโตน.....	31
3.13 รูปที่ 3.33 การทำการอโนไดซ์.....	32
3.14 รูปที่ 3.34 การทำความสะอาดชิ้นงานหลังทำการทดลอง.....	32
3.15 รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้าที่ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์.....	33
3.16 รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้าที่ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์.....	34
3.17 รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้าที่ค่าความต่างศักย์ที่ 30 โวลต์.....	34
3.18 รูปที่ 4.38 พื้นผิวชิ้นงานก่อนและหลังอโนไดซ์ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	35
3.19 รูปที่ 4.39 พื้นผิวชิ้นงานก่อนและหลังอโนไดซ์ที่ความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	36
3.20 รูปที่ 4.40 พื้นผิวชิ้นงานก่อนและหลังอโนไดซ์ที่ความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	36
3.21 รูปที่ 4.41 การเกิดท่อนบนพื้นผิวด้วยเครื่องAFMที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	37
3.22 รูปที่ 4.42 การเกิดท่อนบนพื้นผิวด้วยเครื่องAFMที่ความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	38
3.23 รูปที่ 4.43 การเกิดท่อนบนพื้นผิวด้วยเครื่องAFMที่ความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	38
3.24 รูปที่ 4.44 การเกิดท่อนบนพื้นผิวด้วยกล้องFESEMที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	39
3.25 รูปที่ 4.45 การเกิดท่อนบนพื้นผิวด้วยกล้องFESEMที่ความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	40
3.26 รูปที่ 4.46 การเกิดท่อนบนพื้นผิวด้วยกล้องFESEMที่ความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	40
3.27 รูปที่ 4.47 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	41
3.28 รูปที่ 4.48 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	41
3.29 รูปที่ 4.49 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	42
3.30 รูปที่ 4.50 กราฟความสัมพันธ์ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและเส้นผ่านศูนย์กลาง.....	42
3.31 รูปที่ 4.51 ความยาวของท่อที่เกิดขึ้นที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.32 รูปที่ 4.52 ความยาวของท่อที่เกิดขึ้นที่ความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	43
3.33 รูปที่ 4.53 ความยาวของท่อที่เกิดขึ้นที่ความต่างศักย์ 30 โวลต์.....	44
3.34 รูปที่ 4.54 กราฟความสัมพันธ์ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความยาวของท่อ.....	44
3.35 รูปที่ 4.55 มุมของน้ำบนพื้นผิวชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	45
3.36 รูปที่ 4.56 มุมของน้ำบนพื้นผิวชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 25 โวลต์.....	46
3.37 รูปที่ 4.57 มุมของน้ำบนพื้นผิวชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์.....	46
3.38 รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ความต่างศักย์ไฟฟ้ากับมุมของน้ำบนพื้นผิวชิ้นงาน.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

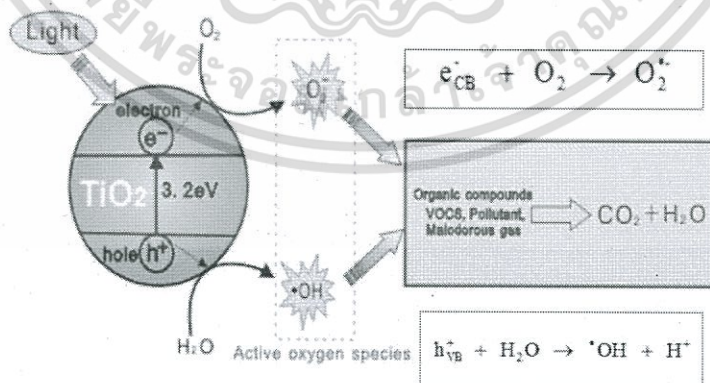
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

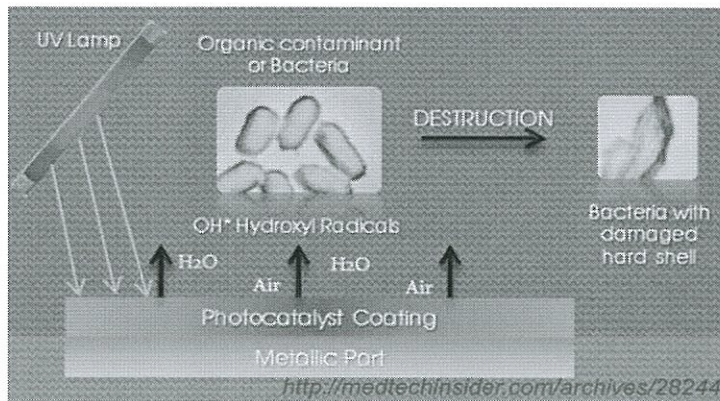
ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสาร ทำให้ความต้องการโทรศัพท์ประเภท smart phone ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับอุปกรณ์โทรศัพท์ smart phone ที่มาคู่กันก็คือ ฟิล์มกันรอย (screen protector) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันรอยขีดข่วนเนื่องจากการใช้งาน ฟิล์มกันรอยที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดมีหลายประเภทหลายราคา ขึ้นอยู่กับสมบัติของฟิล์มกันรอยและความสามารถในการป้องกันที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ฟิล์มที่มีราคาถูกจะไม่สามารถกันแสงยูวี ซึ่งส่งผลถึงดวงตาของผู้ใช้งานโทรศัพท์ อีกทั้งรอยนิ้วมือและคราบสกปรกต่าง ๆ เนื่องจากน้ำ ของเหลวต่าง ๆ ทำให้เกิดคราบหลงเหลืออยู่บนแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำความสะอาดออกได้ยาก โดยต้องเช็ดออกด้วยผ้าไร้ขนและน้ำยาเช็ดแผ่นฟิล์มซึ่งมีราคาแพง ในงานวิจัยนี้ต้องการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มกันรอยให้มีความสามารถในการป้องกันแสงยูวี ลดการสะสมของคราบสกปรก และทำความสะอาดตัวเองได้ โดยอาศัยกระบวนการเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเคลือบฟิล์มดังนี้

1. ดูดกลืนแสงคลื่นความถี่ยูวีได้ดี ทำให้ถนอมสายตากับผู้ใช้งานโทรศัพท์ smart phone
2. ปฏิกริยาการกระตุ้นด้วยแสง (Photocatalyst)



3. มีค่าดัชนีหักเหของแสงสูง
4. ความสามารถในการต้านทานแบคทีเรีย เมื่อแบคทีเรียแพร่กระจายไปบนพื้นผิว สารพิษที่เกิดจากการตายของเซลล์จะถูกทำลายจากการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

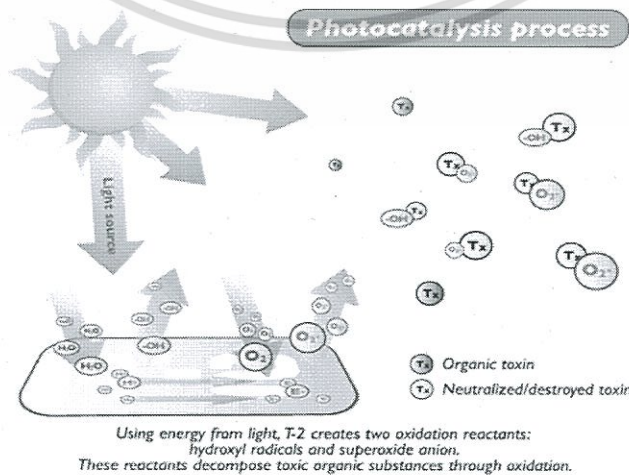
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. ความสามารถในการกำจัดกลิ่น อนุภาค OH- สามารถกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ระเหยอยู่ในอากาศ อันเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ โดยการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของสาร

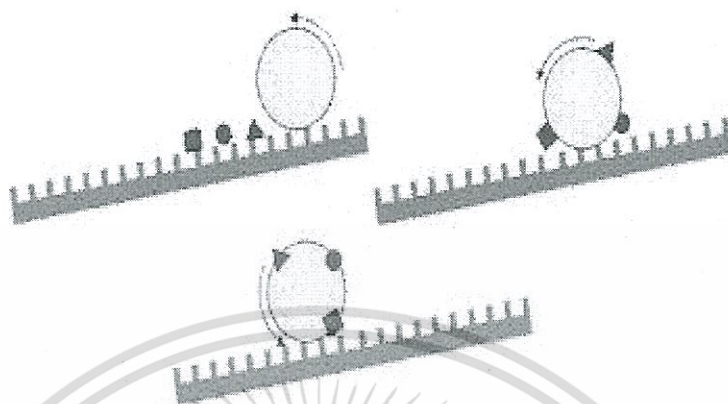


6. ความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง (Self-Cleaning)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ความสามารถในการป้องกันการเกิดหยดน้ำ และคราบ (Lotus Effect)



1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาเงื่อนไขของกระบวนการเกิดทอ TiO_2 โดยวิธีอะโนไดเซชัน
- 1.2.2 ทดสอบสมบัติการป้องกันหยดน้ำและสมบัติการทำความสะอาดตัวเองของฟิล์มบาง TiO_2



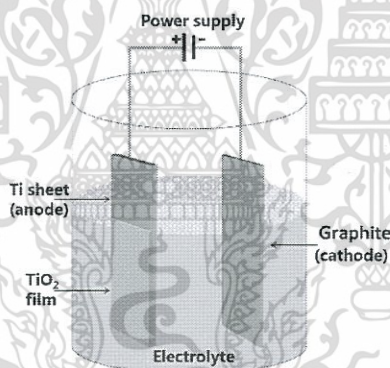
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการแอนโนไดเซชัน (Anodization process)

กระบวนการแอนโนไดเซชัน (Anodization process) เป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีที่ใช้หลักการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) โดยจะทำการผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะทำให้เกิดการสังเคราะห์ฟิล์มออกไซด์ (Oxide film) ขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของโลหะเช่นไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เพื่อป้องกันการผุกร่อนและปรับสภาพผิวหน้าของโลหะโดยชั้นฟิล์มออกไซด์จะมีความหนามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรของกระบวนการแอนโนไดเซชันได้แก่ความต่างศักย์ไฟฟ้าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เวลาและอุณหภูมิ

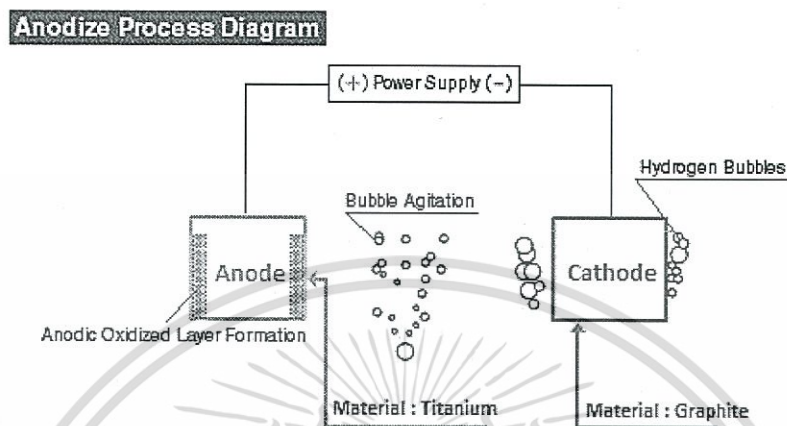


รูปที่ 2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดเซชันประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (dc power supply) โดยมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วได้แก่ขั้วบวกเชื่อมกับโลหะไทเทเนียม (Ti) กระทำตัวเป็นขั้วแอโนด (Anode) ส่วนขั้วลบเชื่อมกับแกรไฟต์ (Graphite) กระทำตัวเป็นขั้วแคโทด (Cathode) ตามรูปประกอบที่ 2.1 โดยทั้ง 2 ขั้วแช่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีการให้ความต่างศักย์ที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและไอออนลบโดยที่ไอออนบวก (H^+) เคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดและไอออนลบ (O^-) เคลื่อนที่ไปจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดและที่ผิวโลหะจะพบว่า มีไอออนของออกซิเจน (O^-) ที่สูญเสียอิเล็กตรอนให้กับอะตอมโลหะ และ ส่งผลให้เกิดการสร้างพันธะกับโลหะกลายเป็นชั้นฟิล์มออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

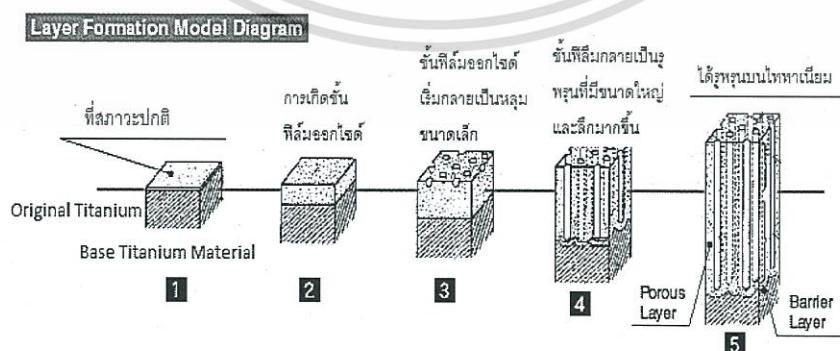
อิเล็กตรอนที่สูญเสียไปจะเคลื่อนที่ผ่านแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงไปยังขั้วลบและทำปฏิกิริยากับไอออนของไฮโดรเจน (H^+) ก่อให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนบริเวณขั้วแคโทดตามรูปประกอบ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในขั้วแอโนดและขั้วแคโทด

ลักษณะของฟิล์มออกไซด์ที่เกิดขึ้นอาจมีลักษณะเป็นรูพรุนหรือชั้นฟิล์มบาง (Barrier layer) เป็นผลมาจากองค์ประกอบของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในกระบวนการแอโนไดซ์ เซชันถ้าอิเล็กโทรไลต์มีสมบัติเป็นกลางชั้นฟิล์มออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นชั้นฟิล์มบาง แต่ถ้าใช้อิเล็กโทรไลต์ที่มีความเป็นกรดฟิล์มออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นรูพรุนหรือท่อนาโนโดยเฉพาะอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วยไอออนของฟลูออไรด์ (F^-) หรือคลอไรด์ (Cl^-) โดยไอออนเหล่านี้ส่งผลให้ชั้นฟิล์มออกไซด์เกิดเป็นโครงสร้างของท่อนาโนที่จัดเรียงเป็นแถว

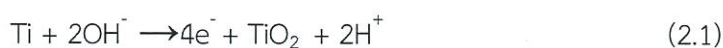
2.2 กลไกการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2 Nanotube)



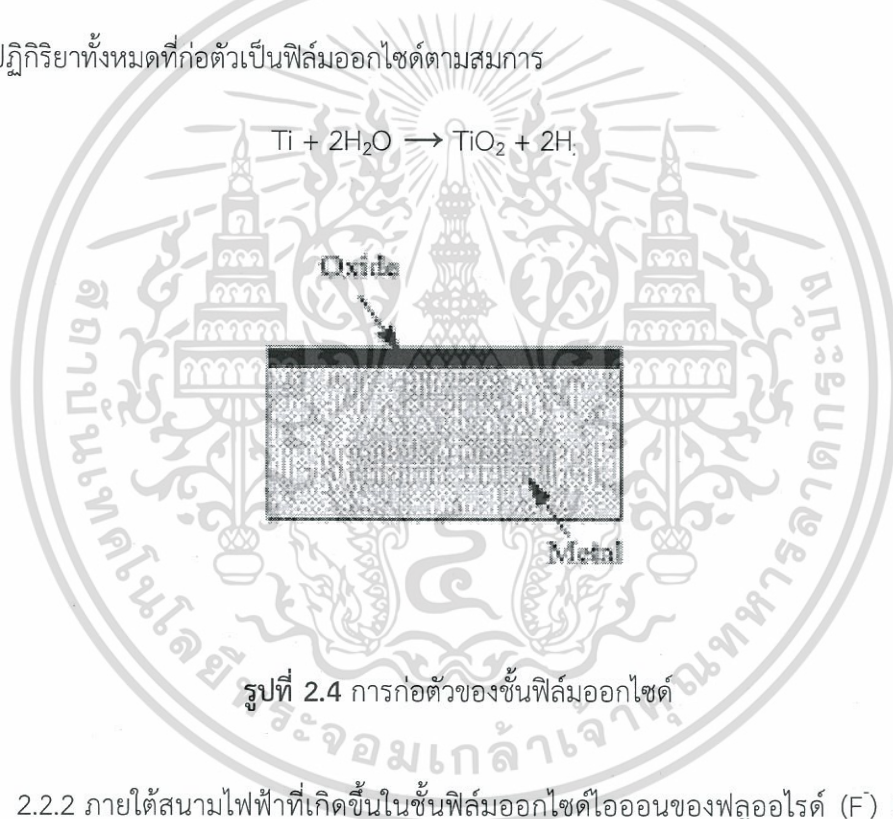
รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดท่อไทเทเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การโตของชั้นฟิล์มออกไซด์ที่พื้นผิวโลหะเนื่องจากโลหะทำปฏิกิริยากับไอออนของออกซิเจน (O^{2-}) หลังจากชั้นฟิล์มออกไซด์ชั้นแรกก่อตัวขึ้นไอออนเหล่านี้จะเคลื่อนจากชั้นออกไซด์ไปยังรอยต่อระหว่างโลหะกับออกไซด์เพื่อที่จะทำปฏิกิริยากับโลหะชั้นตอนของการเกิดชั้นฟิล์มออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นฟิล์มติดแน่นบนผิว (Compact film) เป็นไปตามรูปประกอบที่ 2.4 และเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

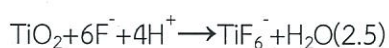


ดังนั้นปฏิกิริยาทั้งหมดที่ก่อตัวเป็นฟิล์มออกไซด์ตามสมการ

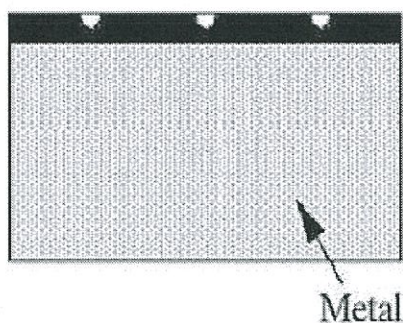


รูปที่ 2.4 การก่อตัวของชั้นฟิล์มออกไซด์

2.2.2 ภายใต้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชั้นฟิล์มออกไซด์ไอออนของฟลูออไรด์ (F^-) เริ่มมีการเคลื่อนที่ภายในชั้นฟิล์มออกไซด์โดยไอออนของฟลูออไรด์จะทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะ (Ti^{4+}) ดังสมการที่ 5 ในขั้นตอนนี้การสลายตัวเนื่องจากสนามไฟฟ้าส่งผลต่อการสลายตัวของฟิล์มออกไซด์หลังจากนั้นจะเริ่มมีหลุมขนาดเล็กก่อตัวขึ้นเนื่องจากการสลายตัวเฉพาะที่ของฟิล์มตามรูป ประกอบที่ 2.5 และเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

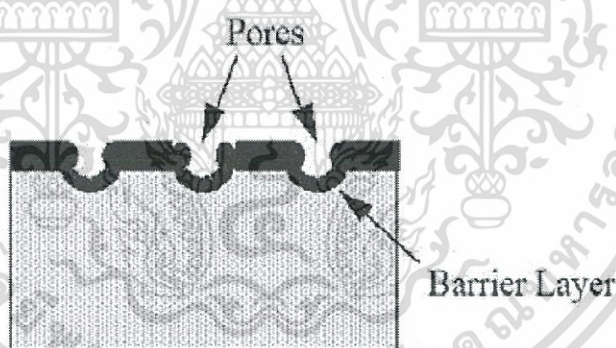


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เกิดหลุมขนาดเล็กบนชั้นฟิล์มออกไซด์

2.2.3 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยให้เกิดการสลายตัวของออกไซด์ที่รอยต่อระหว่างออกไซด์กับอิเล็กโทรไลต์ในขณะเดียวกันไอออนของออกซิเจนอิสระ (O^{2-}) จะเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อระหว่างโลหะกับออกไซด์เพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะทำให้หลุมขนาดเล็กเกิดการเพิ่มขนาดขึ้นกลายเป็นรูพรุนขนาดใหญ่และความหนาแน่นของรูพรุนเพิ่มขึ้นผลจากการที่มีสนามไฟฟ้าเคลื่อนที่บริเวณกันของรูพรุนนั้นทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มบางตามรูปประกอบที่ 2.6

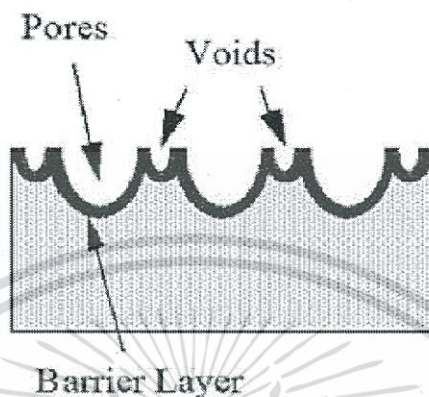


รูปที่ 2.6 การขยายตัวของรูพรุน

2.2.4 การสลายตัวทางเคมีของโลหะหรือออกไซด์โดยอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดซึ่งการสลายตัวทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ในกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ส่งผลให้ฟิล์มออกไซด์เกิดเป็นท่อขนาดนาโนได้ดีกว่าการเกิดเป็นโครงสร้างรูพรุนขนาดนาโน และ เมื่ออัตราการโตของออกไซด์ที่รอยต่อระหว่างโลหะกับออกไซด์ และอัตราการสลายตัวของออกไซด์ที่รอยต่อบริเวณกันของรูพรุนกับอิเล็กโทรไลต์ที่อัตราที่เท่ากัน ภายหลังจากนั้นความหนาของชั้นฟิล์มบางจะไม่มีเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้นถึงแม้ว่าไอออนอิสระจะเคลื่อนที่ไปยังโลหะทำให้ความลึกของรูพรุนเพิ่มขึ้นก็ตาม บริเวณ

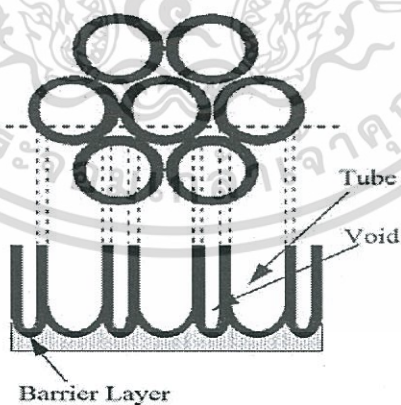
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะที่นูนออกมานั้นจะมีสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้การสลายตัวของออกไซด์ และการโตของออกไซด์เพิ่มขึ้นในเวลาเดียวกันบริเวณรอบๆรูพรุนจะเกิดช่องว่างขึ้นมาตามรูปประกอบที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิดช่องระหว่างรูพรุน

2.2.5 ภายหลังจากนั้นเมื่อช่องว่างและท่อเกิดขึ้นอย่างสมดุลจนกลายเป็นโครงสร้างท่อขนาดนาโนความยาวของท่อจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอัตราของการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้ามีค่าเท่ากับอัตราการสลายตัวของเคมีตามรูปประกอบที่ 2.8[1]



รูปที่ 2.8 การเกิดเป็นท่ออย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide Property)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide:TiO₂) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียม ที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้า คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titaniumdioxide) ไททานิกแอนไฮไดรด์ (Titanic anhydride) และไททานีย (Titania) ไทเทเนียมเป็นแร่ที่ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1791 ในเหมืองแร่เหมืองคอร์นวอลล์ ประเทศอังกฤษ โดยนักธรณีวิทยาชื่อ William Gregor ใช้สัญลักษณ์แทนคือ Ti มีเลขอะตอม 22 มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อสภาพกัดกร่อนของคลอรีน น้ำทะเล และกรดต่าง ได้ดี ไทเทเนียมไดออกไซด์โดยธรรมชาติจะพบน้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่อิลเมนไนต์ (ilmenite) หรือ ลิวโซซีน (leuxocene) โดยทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธี rutile beach sand

2.3.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- มวลโมเลกุล 79.9 กรัม/โมล
- ความหนาแน่น 3.84-4.26 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
- จุดเดือด 2,500 องศาเซลเซียส
- จุดหลอมเหลว 1,850 องศาเซลเซียส
- ไม่ละลายน้ำ

2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล

- สถานะภาพเป็นของแข็งสีขาว
- พื้นที่ผิว 50 ตารางเมตร/กรัม
- ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 20 นาโนเมตร
- ความหนาแน่น 130 กรัม/ลิตร
- ความถ่วงจำเพาะ 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร
- กำลังแรงกด 680 MPa
- Poisson's Ratio 0.27
- Shear Modulus 90 GPa

2.3.3 ด้านความปลอดภัย

- การกินจากอุบัติเหตุ (Ingestion) มีความเป็นอันตรายต่ำ
- การสูดดม (Inhalation) ทำให้เกิดอาการคัน และอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจหายใจ
- การสัมผัสผิวหนัง (Skin) มีความเป็นอันตรายต่ำ สามารถล้างออกได้
- การสัมผัสส้นนัยน์ตา (Eyes) มีความเป็นอันตรายต่ำ มีอาการแสบ คันเล็กน้อยสามารถล้างออกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ประโยชน์ไทเทเนียมไดออกไซด์

ปัจจุบันไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มาก มักใช้ในรูปของผลึกแบบรูไทล์ (rutile) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ซึ่งพบมากในธรรมชาติ ส่วนชนิดอนาเทส (anatase) นิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงชั้นสูงการนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่างๆ ได้แก่

2.3.4.1. ใช้สำหรับสารให้สี

อุตสาหกรรมสีที่เกี่ยวข้อง มักใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน ด้วยคุณสมบัติให้สารสีขาว สามารถดุดกสี และหักเหช่วงแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้สูง ขนาดอนุภาคเล็ก มีความยึดหยุ่นสูงทำให้ปกปิดรอยร้าว รอยตำหนิได้ดี และทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทนต่อแสงและความร้อน รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมของสีสำหรับงานพิมพ์งานศิลปะ เนื่องจากมีคุณสมบัติให้สีขาวสว่าง

2.3.4.2. ใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์

มักใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมพลาสติกอุตสาหกรรมแก้ว กระจก และอุตสาหกรรมผลิตรถเบี้อง การผลิตสุขภัณฑ์ การผลิตเซรามิก อุตสาหกรรมโลหะสำหรับการเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อลดการทะลุผ่านของแสง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน รวมถึงคุณสมบัติที่กล่าวในข้างต้น นอกจากนี้ การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์สำหรับเคลือบผิวผลิตภัณฑ์สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้

2.3.4.3. เป็นสารกึ่งตัวนำผลิตรถแสงไฟฟ้า

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบเพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไวสี้อม (Dye sensitive solar cell)

2.3.4.4. ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ามักจะใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อทำเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคุณสมบัติที่มีค่าคงที่ทางไฟฟ้าและค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูง

2.3.4.5. ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง

เครื่องสำอางบางยี่ห้อมีการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมสำหรับทำหน้าที่ให้ผงละเอียดสีขาว มีคุณสมบัติทึบแสง สามารถสะท้อน และหักเหแสงได้สูง และสะท้อนรังสียูวีได้ดี ไม่เป็นอันตรายต่อผิว ผลิตภัณฑ์ที่พบใช้เป็นส่วนผสมมาก ได้แก่ ครีมบำรุงผิว ครีมกันแดด แป้งรองพื้น และทาข่าย เป็นต้น

2.3.4.6 ใช้ในด้านการบำบัดมลพิษ

- ใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารตัวดูดซับมลพิษ

- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อได้รับแสง และความร้อน จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกตัวให้สาร และรังสีที่มีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถกำจัดของเสียหรือมลพิษในน้ำ และอากาศ รวมถึงการกำจัดและต้านเชื้อจุลินทรีย์

2.3.5 ชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์แบ่งตามโครงสร้างของผลึก ได้แก่

2.3.5.1 รูไทล์ (rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนัล (tetragonal) ซึ่งเป็นชนิดที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติมีความคงทนและเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่สูง

2.3.5.2 อนาเทส (anatase) โครงสร้างแบบเทตระโกนัล (tetragonal) เป็นชนิดที่พบในธรรมชาติปานกลาง ที่ความร้อนสูงกว่า 915 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์

2.3.5.3 บรูคไคท์ (brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (orthorhombic) เป็นชนิดที่พบได้น้อยในธรรมชาติ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำ หากได้รับความร้อนมากกว่า 750 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์ตามรูปประกอบที่ 2.9[2]



รูปที่ 2.9 ชนิดของไทเทเนียม

2.4. เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ผล

2.4.1 Scanning Electron Microscope (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนเป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยขยายตาประเภทกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็น ได้ด้วยตาเปล่าหรืออาจบันทึกภาพที่บนแผ่นฟิล์มได้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนมีชื่อ "ภาษาอังกฤษ" คำเต็มว่า SCANNING ELECTRON MICROSCOPE และโดยทั่วไปแล้วผู้ที่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ชนิดนี้มักจะเรียกชื่อย่อเป็น "ภาษาอังกฤษว่า "SEM" (ออกเสียงว่าเอสอีเอ็ม)

2.4.1.1 ส่วนประกอบพื้นฐาน

- Electron gun (แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน) อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากถังแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจาก 110 volts หรือ 220 volts เป็นไฟฟ้าที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันไฟฟ้าสูงคือระหว่าง 1-30 KV ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM

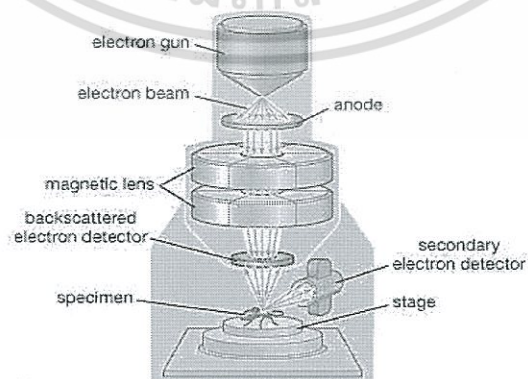
- Electromagnetic lens (เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน) ใช้ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

- Scan coil (ขดลวดควบคุมการเคลื่อนที่ของลำแสงอิเล็กตรอน) เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบ บนผิวตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการ

- Specimen Chamber (ช่องใส่ตัวอย่าง) เป็นช่องว่างใต้เลนส์สุดท้ายส่วนที่สำคัญของช่องใส่ตัวอย่างคือฐานวางตัวอย่างและปุ่มควบคุมโดยใช้เฟืองขนาดต่างๆเพื่อเลื่อนฐานนี้ให้เลื่อนไปมาภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทางฐานวางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่าgoniometerstage

- Collector&scintillator(อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ) เป็นแท่งแก้วใสมีปลายมนทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุขนาด 30-250 โวลต์เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยา ระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่าง

- Imaging photographic devices (อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและ ภาพที่ปรากฏบนจอ CRT ก็พร้อมที่จะทำการบันทึกอุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อนำแสงและเครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอน ให้เป็นแสงไฟทำการสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใสประเภท ท่อนำแสงในลักษณะของแสงแสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง (photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิด photons นี้ไป อิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพ (CRT) ที่ติดตั้งไว้บน consoleunit ตามรูปประกอบที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM

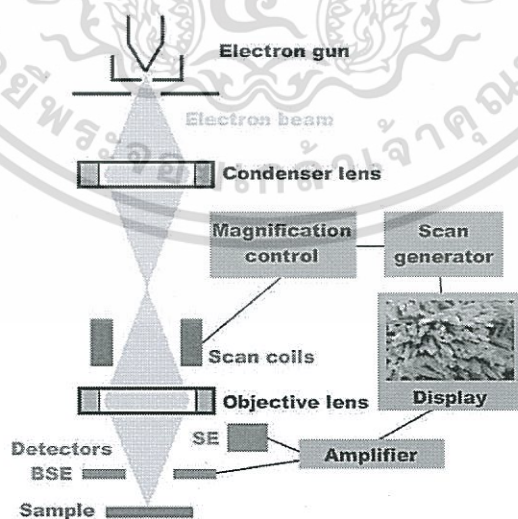
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 หลักการทำงาน

ลำอิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งมีสภาพเป็นสุญญากาศ โดยทิศทางเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่าและปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมด้วยแอฟเพอร์เจอร์หรือช่องเปิดซึ่งมีขนาดต่างๆกันตามลักษณะการใช้งาน โดยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรกเรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) จะทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลงส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์สุดท้ายจะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (Scan coil) ทำหน้าที่กวาดอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆซึ่งพื้นผิวของตัวอย่างที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนนี้ จะเกิดสัญญาณต่างๆขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และ SEM จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (Detector) ชนิดต่างๆเหล่านั้น แล้วส่งไปประมวลผลเป็นภาพบนจอภาพต่อไป ตัวอย่างสัญญาณที่เกิดขึ้น ได้แก่

- สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Image: SEI) เป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานต่ำ 3 ถึง 5 อิเล็กตรอนโวลต์เกิดที่พื้นผิวระดับไม่ลึกไม่เกิน 10 นาโนเมตรโดยเกิดกับธาตุที่มีแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ผิวต่ำ

- สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ (Backscattered Electron Image: BEI) หรือกลุ่มอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานให้อะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนและการกระเจิงกลับซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิเกิดที่พื้นผิวระดับลึกกว่า 10 นาโนเมตรโดยเกิดกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูงตามรูปประกอบที่ 2.11[3]



รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่อง SEM

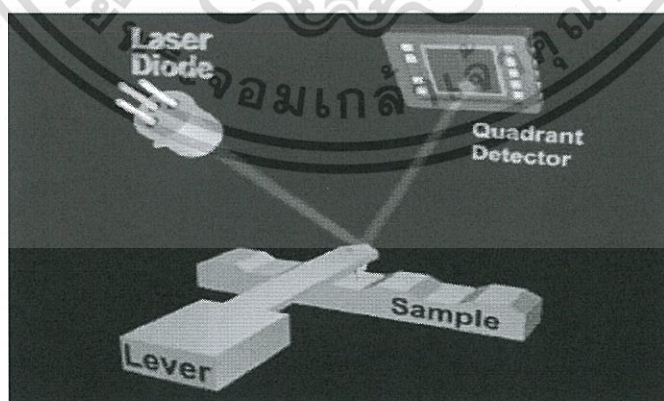
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 Atomic Force Microscope (กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม)

กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมเป็นกล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน หรือ SPM ประเภทหนึ่งที่สามารถใช้ในการถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร หรือถ่ายภาพอะตอมของสสารได้ โดยที่กล้อง AFM จะมีลักษณะการทำงานที่พิเศษเฉพาะตัวคือจะใช้หัววัดขนาดเล็กวัดแรงผลึกและแรงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างหัวเข็มกับพื้นผิววัตถุ เพื่อมาสร้างเป็นภาพของพื้นผิวของวัตถุนั้นได้ โดยที่กล้อง AFM สามารถนำมาใช้ในการถ่ายภาพขยายในระดับนาโนเมตรของวัตถุที่นำไฟฟ้าและวัตถุที่ไม่นำไฟฟ้า ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ แผ่นฟิล์มบางคอลลอยด์ อนุภาคนาโนในเครื่องสำอาง เซลล์แบคทีเรีย ชิ้นงานที่เป็นผงระดับนาโนในเครื่องสำอาง เซลล์แบคทีเรีย ชิ้นงานที่เป็นผงระดับนาโนโดยสามารถบอกความสูง-ต่ำของพื้นผิวในรูปแบบ 2 มิติหรือ 3 มิติ

2.4.2.1 หลักการทำงาน

การผ่านแสงเลเซอร์ไปให้กับส่วนปลายแหลม (tip) ของคานยื่นที่มีขนาดระดับอะตอมในระยะใกล้ ซึ่งส่วนปลายแหลมของคานนั้นจะไปสัมผัสแบบกระดกในทิศทางขึ้นและลงกับพื้นผิวของวัตถุ และเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายแหลมผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับปลายแหลมจะดึงคาน ทำให้คานโก่งงอตัว ทำให้สามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิสัมพันธ์ ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ (ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นได้) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณร่วมกันเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวที่เป็นลักษณะเชิงโครงสร้างระดับอะตอม ที่มีกำลังการขยายสูงไปแสดงบนจอภาพที่เป็นมอนิเตอร์เช่นเดียวกับเครื่อง STM (และโดยหลักการเดียวกันนี้ก็สามารถที่ใช้ปลายแหลมของคานนี้ในการสร้างแรงผลึก เพื่อเคลื่อนย้ายอะตอมแต่ละตัวของโครงสร้างวัสดุได้เช่นเดียวกันอีกด้วย)ตามรูปประกอบที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำงานของเครื่อง AFM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 การประยุกต์ใช้

วิธีการทำงานของเครื่อง AFM ที่นำมาใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

- การสัมผัสแบบต่อเนื่องเป็นการสัมผัสพื้นผิวพร้อมกับการลากปลายแหลมไปบนพื้นผิวนั้นๆ ตลอดเวลา ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะทำให้เกิดแรงต้านในแนวของการเคลื่อนที่ซึ่งขนานกับพื้นผิวขึ้น อันอาจทำให้คานของโพรบที่ใช้วัดเกิดการโก่งงอตัวหรือเกิดบิดเบี้ยวไป โดยที่มิได้เกิดจากแรงดึงดูดที่ปลายเนื่องจากแรงในแนวตั้งฉากเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ข้อมูลความสูงของพื้นผิวที่วัดได้นั้นอาจผิดไปจากความสูงที่แท้จริง

- การสัมผัสแบบไม่ต่อเนื่องเป็นการสัมผัสพื้นผิวโดยให้ปลายแหลมสัมผัสกับพื้นผิวเป็นระยะเวลาสั้นๆ ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว (คล้ายกับการใช้ปลายนิ้วเคาะโต๊ะเป็นจังหวะๆ นั่นเอง) ด้วยลักษณะการสัมผัสแบบนี้แรงต้านในแนวตั้งฉากจะไม่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากปลายแหลมสัมผัสพื้นผิวเป็นระยะสั้นๆ จึงทำให้เกิดการสั่นของคาน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้นไม่คงที่หรือไม่แม่นยำได้ [4]

2.4.3 การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction: XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านเคมีและเคมีชีวภาพ โดยใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ ดีเอ็นเอ โปรตีนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ รวมถึงวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้น ผู้ผลิตได้พัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในเทคนิคนี้ให้มีความสามารถมากยิ่งขึ้นและใช้งานได้ง่ายขึ้น ทำให้เอื้อประโยชน์สำหรับนักวิทยาศาสตร์ที่จะนำไปใช้ปรับปรุง พัฒนา หรือยกระดับการวิเคราะห์ วิจัย หรือตรวจสอบในระดับสูงขึ้นไป

2.4.3.1 หลักการพื้นฐาน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD นั้นจะใช้คุณสมบัติการเลี้ยวเบนรังสีของโครงสร้างผลึกซึ่งเป็นไปตามสมการของ Bragg

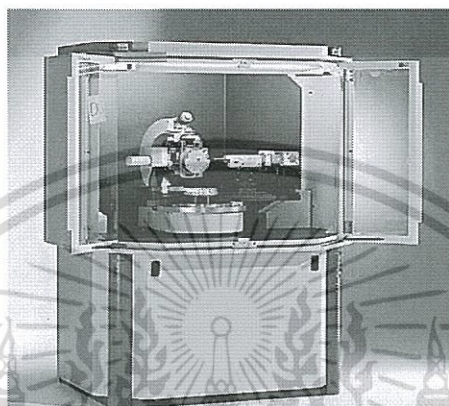
$$n\lambda = 2d\sin \theta \quad (2.6)$$

โดยที่ $n = 1, 2, 3, \dots$, λ คือ ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์, d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก และ θ คือ มุมตกกระทบของรังสีเอ็กซ์กับระนาบผลึก

ในขั้นตอนแรกนั้นต้องทำการปลูกผลึกที่สนใจแล้วนำผลึกที่ได้ไปแช่ในโตรเจนเหลวผลึกที่แช่แข็งนี้จะปลด radiation damage ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูลและลดการเคลื่อนไหวของอุณหภูมิกายในผลึกผลึกจะถูกวางในเครื่อง diffractometer แล้วฉายด้วยรังสีเอ็กซ์รังสีที่เกิดการเลี้ยวเบนจะถูกบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มหรือคอมพิวเตอร์ข้อมูลที่ได้จะถูกรวบรวมแล้วนำมาสร้างเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังของความหนาแน่นอิเล็กตรอนของโมเลกุลหลังจากนั้นอะตอมจะถูกปรับค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ตำแหน่งเทียบกับผังความหนาแน่นเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่าความเข้มที่มุมต่างๆจะถูกนำมาพล็อตจนได้กราฟที่เรียกว่า diffractogram ซึ่งแต่ละพิกที่ที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิดด้วยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ทำให้เราได้ทราบถึงข้อมูลของวัสดุที่ต้องการศึกษาทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและคุณสมบัติเชิงกลอย่างมากมาย



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเครื่องที่ใช้หลักการของ XRD

2.4.3.2 เทคนิค

เทคนิคที่ใช้หลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิคได้แก่ -Single-Crystal Methods

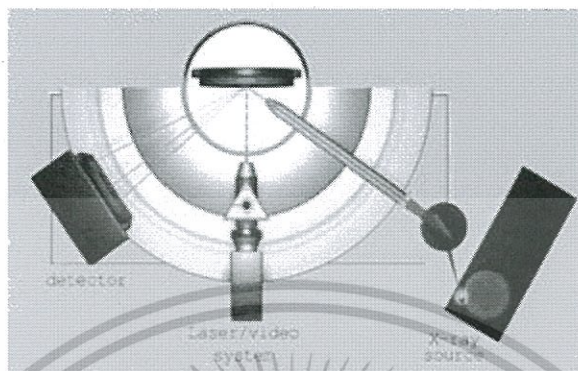
โดยหลักแล้วเทคนิคนี้ใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างอะตอม (ความสมมาตร ตำแหน่ง ช่องว่าง เป็นต้น) ซึ่งวิธีการดั้งเดิมนั้น (Laue method) จะใช้ผลึกติดอยู่กับที่และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์เมื่อฉายลำรังสีให้ตกลงบนผลึกเดี่ยว จะทำการบันทึกผลการเลี้ยวเบนลงบนแผ่น Photographic plate ซึ่งใช้ในการบันทึกค่าความเข้มและตำแหน่งของรังสีที่เกิดการเลี้ยวเบนแต่ในปัจจุบันนั้นจะทำให้ผลึกเกิดการหมุนและอาศัยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของกล้องก้าวข้ามขีดจำกัดของการตรวจวัดปริมาณของรังสีที่เลี้ยวเบนจากวิธีการดั้งเดิมวิธีการนี้จะใช้รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวแต่อาศัยการเปลี่ยนมุม θ โดยการเคลื่อนที่ของผลึกซึ่งอยู่บนแท่นหมุน แล้วใช้ diffractometer และคอมพิวเตอร์ในการเก็บรวบรวมและจัดการข้อมูลซึ่งจะให้ผลที่มีความแม่นยำมากกว่า

- Powder Methods

เบื้องต้นแล้ววิธีการนี้จะใช้ในการระบุแร่ธาตุโดยจะใช้บอกร่องค์ประกอบและตรวจวัดความสัมพันธ์ของธาตุที่มีอยู่ในสารผสม เช่นเดียวกับ Single-Crystal Methods คือแต่เดิมนั้นจะใช้เทคนิคของการถ่ายภาพในการบันทึกข้อมูลการเลี้ยวเบนแต่ในปัจจุบันจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า X-ray

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Powder Diffractometer และยังสามารช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการเตรียมตัวอย่างผลึกแล้วไม่สามารถใช้วิธีการแรกในการตรวจวัดได้ [5]



รูปที่ 2.14 การทำงานของ XRD

2.4.4 Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)

Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับจุลภาคและเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการวิจัยและการผลิตภาคอุตสาหกรรม FESEM เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงถึงระดับ 1,000,000 เท่าทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับไมโครหรือนาโนได้ FESEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer ; EDS) ซึ่งช่วยในการศึกษาชนิดปริมาณและการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุที่ศึกษาได้อีกทั้ง FESEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือหัววัดอื่นๆเพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไปเช่นเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์การเรียงตัวของผลึกโดยใช้สัญญาณจากการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Electron Backscatter Diffraction; EBSD) นอกจากนี้ FESEM ยังสามารถประยุกต์โดยเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ควบคุมลำอิเล็กตรอนเพื่อใช้เขียนลวดลายขนาดเล็กลงบนชิ้นงาน (Electron Beam Lithography) จะเห็นได้ว่า FESEM เป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัยด้วยกำลังขยายที่สูงและสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและครอบคลุมการศึกษาวิจัยในระดับจุลภาค

2.4.4.1 คุณสมบัติ

Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบ Schottky type field-emission (T-FE) มี resolution สูงถึง 1.2 nm ที่ 30 kV เหมาะสำหรับงานทางวิทยาศาสตร์กายภาพ ศักย์เร่งอิเล็กตรอนปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 0.5-30 kV ง่ายต่อการใช้งานเพราะควบคุมการทำงานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ ระบบสุญญากาศในระบบลำอิเล็กตรอนใช้ sputter-ion pump ส่วนห้องชิ้นงาน (sample chamber) ใช้ diffusion pump หัววัดหลักสำหรับการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายของระบบซึ่งประกอบด้วย 3 หัววัด

2.4.4.2 ประเภทของหัววัด

สัญญาณภาพที่ได้จากFESEMแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะของภาพที่ได้จากหัววัดที่ต่างกัน ได้แก่

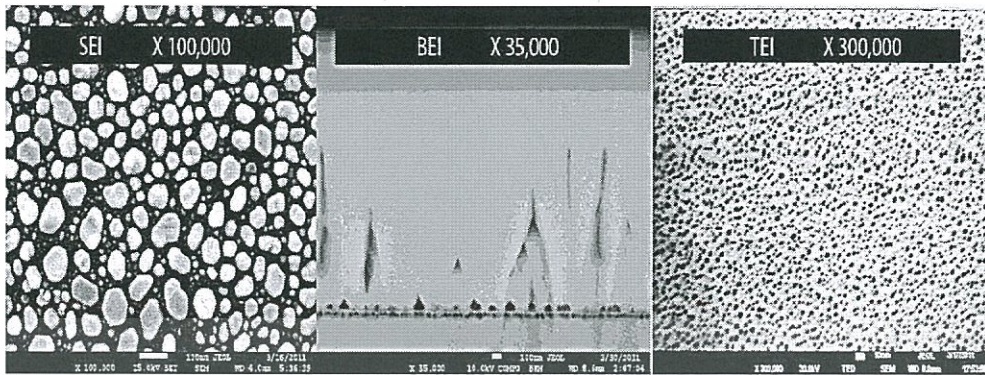
- Secondary Electron Image(SEI)
- Backscattered Electron Image (BEI)
- Transmission Electron Image (TEI)
- Secondary Electron Image (SEI)

เป็นสัญญาณภาพที่ได้จาก Secondary Electron Detector (SED) ที่รับเอาพลังงานจาก secondary electron ที่หลุดออกมาจากพื้นผิวของชิ้นงานเมื่อถูกลำอิเล็กตรอนชนมาประมวลผล ภาพที่ได้แสดงให้เห็นลักษณะของพื้นผิวของตำแหน่งที่สนใจบนชิ้นงาน (Morphology) ศักย์เร่งอิเล็กตรอนปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 0.5-30 kV ตามประเภทของชิ้นงานสามารถเพิ่มกำลังขยายได้สูงถึงประมาณ 1,000,000 เท่าภายใต้สภาวะการใช้งานที่เหมาะสมโดยทั่วไปการใช้งานปกติมักจะได้กำลังขยายถึงประมาณ 300,000 เท่าและยังสามารถเลือกโหมดป้องกันการสะสมของประจุบนชิ้นงานโดยใส่ความต่างศักย์ไปยังชิ้นงานเพื่อไล่ประจุสะสม

- Backscattered Electron Image (BEI)เป็นสัญญาณภาพที่ได้จาก Backscattered Electron Detector (BED) ที่รับเอาพลังงานจาก Backscattered Electron ที่สะท้อนจากพื้นผิวของชิ้นงานมาประมวลผลโดยสัญญาณที่ได้ในแต่ละบริเวณจะแปรตามเลขอะตอม (atomic number, Z) ในเนื้อสารบริเวณนั้นๆภาพที่ได้จึงมีความสว่างเข้มหรืออ่อนตามเลขอะตอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อสาร (atomic contrast) BEI จึงสามารถแสดงภาพที่แยกแยะความแตกต่างของแต่ละบริเวณที่มีธาตุหรือสารประกอบต่างชนิดกันได้หัววัด BED เป็นแบบ retractable สั่งการให้เลื่อนเข้าไปยังตำแหน่งเหนือชิ้นงานในระหว่างใช้งานและเลื่อนออกเมื่อไม่ได้ใช้งานได้เพื่อความปลอดภัยของหัววัด

- Transmission Electron Image (TEI)เป็นสัญญาณภาพที่ได้จาก Transmission Electron Detector (TED) อาศัยหลักการของ Transmission Electron Microscope (TEM) ประยุกต์ติดตั้งในระบบของ FESEM โดย TED จะอยู่ในตำแหน่งใต้ชิ้นงานเพื่อรับพลังงานจาก transmission electron ที่ทะลุผ่านชิ้นงานศักย์เร่งอิเล็กตรอนที่ตั้งไว้สำหรับระบบนี้เป็นค่าสูงสุดคือ 30 kV และชิ้นงานจะต้องเตรียมด้วยเครื่องมือเฉพาะเพื่อให้ชิ้นงานมีขนาดบางเพื่อให้อิเล็กตรอนสามารถทะลุผ่านไปยัง TED ได้ภาพที่ได้จะแสดงถึงรูปร่างโครงสร้างภายในของชิ้นงานสามารถเพิ่มกำลังขยายได้ถึงประมาณ 300,000 เท่า[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ภาพที่ได้จากหัววัดแบบต่างๆ

2.5 โปรแกรม Labview

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LABVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือจะเรียกย่อๆว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือนดังตัวอย่างจากรูปนี้เป็น Oscilloscope ที่ได้ทำการสร้างขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้อีกคือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพและในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุดโปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ

2.5.1 ข้อดี

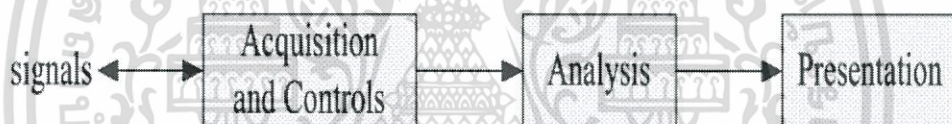
1. โปรแกรม LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆทั้งสิ้นและที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้นี้เราจะเรียกว่าเป็นภาษารูปภาพหรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราค้นเคยกับภาษาพื้นฐานเช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมดซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นอาจจะสับสนอยู่บ้างแต่เมื่อคุ้นเคยกับการใช้โปรแกรมนี้นี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มากโดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆเพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ของเราเมื่อรวมกับ LabVIEW และอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อการเก็บข้อมูล (Data Acquisition Card) แล้วสามารถเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเราให้กลายเป็นเครื่องมือวัดในหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น Oscilloscope, Multi-meter, Function Generator, Strain meter Thermometer หรือเครื่องมือวัดอื่นๆตามที่เรต้องการทำให้สามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการทำการวัดและเครื่องมือวัดได้อย่างกว้างขวางซึ่งจุดนี้เองที่เป็นที่มาของชื่อเครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrument)

2.5.2 หลักการเขียนแบบ DATA FLOW

เนื่องจาก LabVIEW ใช้ลักษณะการเขียนแบบ Block Diagram ซึ่งวิศวกรส่วนใหญ่มีความคุ้นเคยอยู่แล้วจึงเป็นการง่ายที่จะทำความเข้าใจและนำไปพัฒนาใช้ต่อไปได้และถ้าหากเราจำได้ถึงขั้นตอนการเขียนโปรแกรมว่าก่อนที่จะเขียนโปรแกรมจะต้องเขียน Flow Chart ให้เสร็จสิ้นก่อนหลังจากตรวจสอบ Flow Chart เรียบร้อยแล้วเราจึงนำไปเขียนโปรแกรมซึ่งจะมีความสะดวกมากขึ้น LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบตามที่ต้องการหลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ



รูปที่ 2.16 Block Diagram เครื่องมือวัดที่สร้างจาก LabVIEW

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนรับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือคอมพิวเตอร์โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบอาจมาจากการ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า)
2. Analysis หลังจากที่รับข้อมูลแล้วจะผ่านฟังก์ชันในการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงผลในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานโดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสำคัญกับเวลาหรือ Spectrum Analysis จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

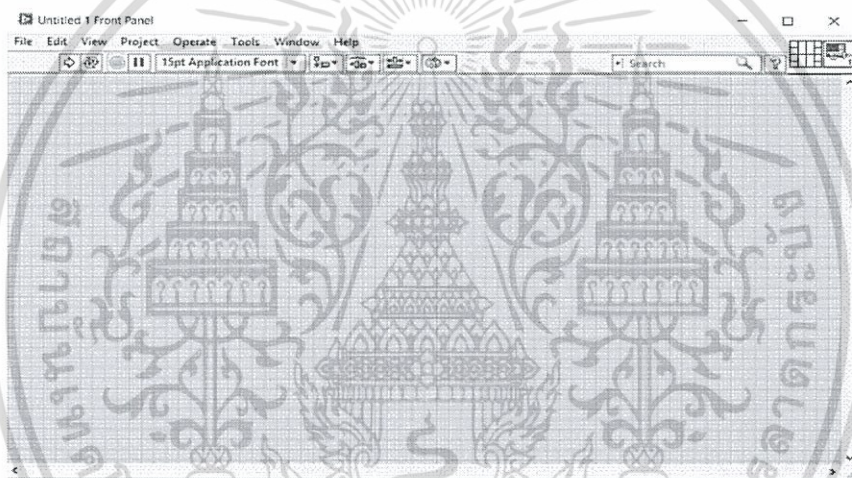
2.5.3 ส่วนประกอบต่างๆใน LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน, Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไปสำหรับ VI หนึ่งๆจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ FrontPanel และ Block Diagram ทั้งสองส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้งสองมีดังต่อไปนี้

1. Front Panel หรือ หน้าปัทม์จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก User Interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆไปโดยทั่วไปจะประกอบด้วยสวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มบิด, ปุ่มกดจอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้สามารถกำหนดสำหรับผู้ที่คุ้นเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual ทั้งหมดคงจะเข้าใจกันดีว่า Front Panel นี้จะเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเองตามรูปประกอบที่ 2.17



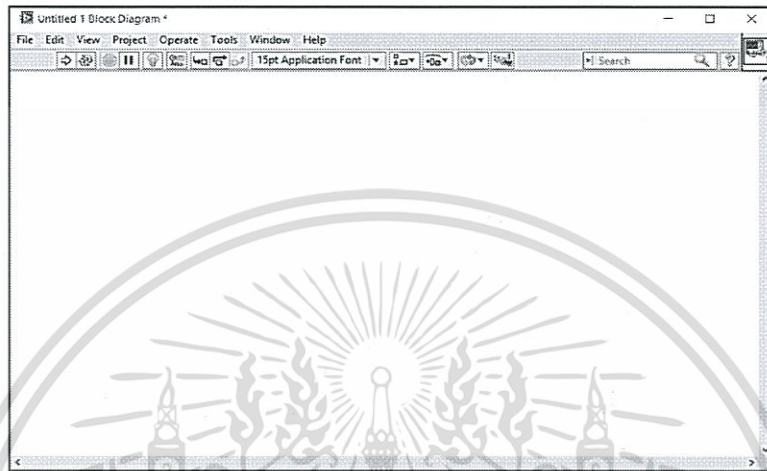
รูปที่ 2.17 Front Panel ของ Labview

Object ที่อยู่บน Front Panel จะมีอยู่สามประเภทคือ

- Control คือประเภทที่รับค่าจากผู้ใช้ (Input) ซึ่งผู้ใช้สามารถพิมพ์ค่าลงไปหรือใช้เมาส์คลิกเพื่อเปลี่ยนแปลงค่าได้เช่นปุ่มหมุนปุ่มเลื่อนสวิตช์ เป็นต้น
- Indicators คือประเภทที่ใช้แสดงค่าต่างๆเท่านั้น (Output) ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้เช่นกราฟมิเตอร์ LED
- Decorations เป็น Object ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมและcode บน Block Diagram เลยแต่มีไว้เพื่อความสวยงามเป็นระเบียบของ Front panel เท่านั้นนั่นเองลักษณะของ Front Panel แสดงดังรูปต่อไปนี้

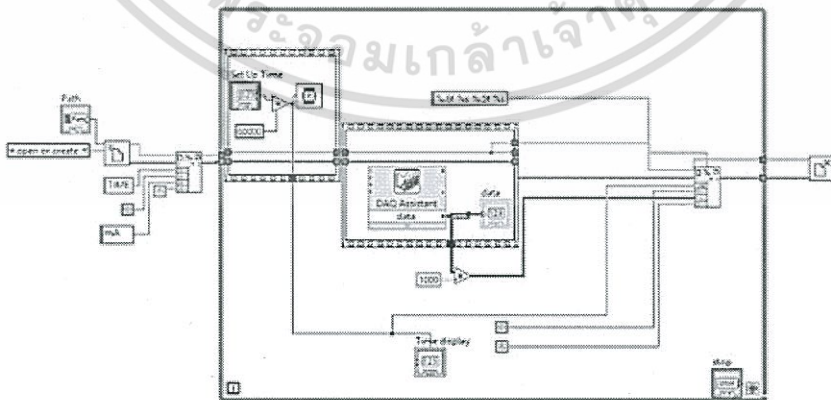
2. Block Diagram เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้นเราอาจมอง Block Diagram นี้เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diagram นี้ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันทีและข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลาทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้นโดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลาทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นมากตามรูปประกอบที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Block Diagram ของ Labview

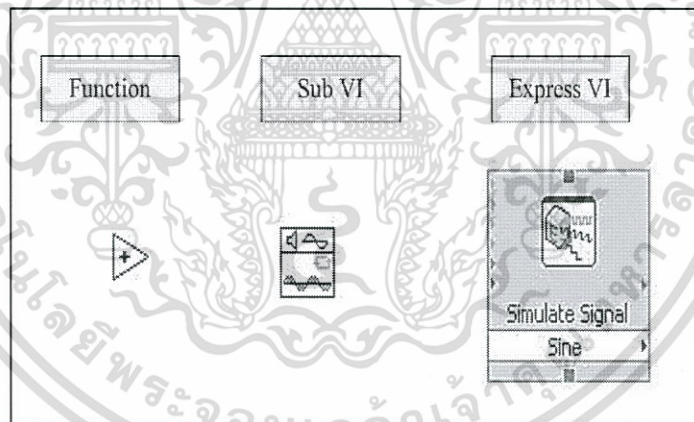
ส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วยฟังก์ชันค่าคงที่โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้างจากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับการต่อสาย (Wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกันเพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านี้ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการและแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



รูปที่ 2.19 Block Diagram ของ Labview ที่มีการทำงานจริง Block Diagram Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Node คือรูป Icon ที่อยู่บน Block Diagram ซึ่งมี Input และ/หรือ Output และจะทำงานตามหน้าที่เมื่อมีการรันโปรแกรมโดนแบ่งเป็นสามชนิดหลัก
- Function คือ Node ที่มีหน้าที่พื้นฐานของคอมพิวเตอร์ซึ่งเราไม่สามารถที่จะเจาะเข้าไปดูรายละเอียดภายในได้อีกเช่นการบวกการคูณ
- SubVIs หรือในภาษาทางซอฟต์แวร์อาจจะเรียกว่า Subroutine หรือ Subprogram คือโปรแกรมย่อยที่ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อถูกนำมาเรียกใช้ในอีกโปรแกรมหนึ่งเราสามารถเปิดเข้าไปดู front panel และ block diagram ได้เมื่อ double click ที่ Icon ของมัน
- Express VIs เป็น subVIs ประเภทพิเศษคือเมื่อเราเลือก Express VI มาวางบน Block Diagram มันจะปรากฏหน้าต่าง Configuration ขึ้นมาเพื่อให้เราเข้าไปป้อนค่า Parameters ต่างตามต้องการและเมื่อเราป้อนค่าเสร็จมันก็จะสร้างโค้ดไว้ภายในอัตโนมัติตามที่เราได้ตั้งค่าไว้ซึ่งความสามารถของ Express VI นี้ทำให้เราแทบไม่จำเป็นต้องต่อสาย Input เลยเพราะ Parameter ทั้งหมดได้ถูกสร้างขึ้นมาแล้วถูกเก็บไว้ในเรียบร้อยแล้วจึงทำให้การเขียน LabVIEW ง่ายและเร็วขึ้นมากสิ่งเกต่ง่ายๆ Express VI จะมี Icon ขนาดใหญ่ที่มีพื้นหลังเป็นสีฟ้าตามรูปประกอบที่ 2.20

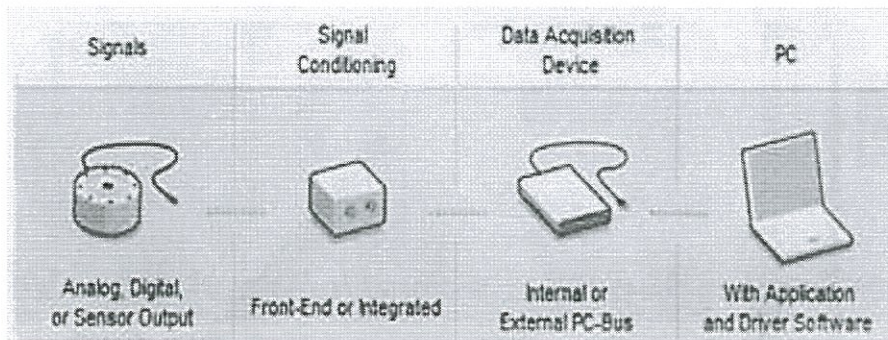


รูปที่ 2.20 ตัวอย่าง Block Diagram Node

2.5.4 ระบบ DAQ บน PC

ระบบ DAQ บน PC คือกระบวนการในการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำบน PC เพื่อการวัดวิเคราะห์จัดเก็บหรือแสดงผลต่อไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการสร้าง VI ของแต่ละแอปพลิเคชันซึ่งระบบ PC จะมีส่วนประกอบอยู่ 4 ส่วนด้วยกันคือส่วนของแหล่งสัญญาณส่วนฮาร์ดแวร์, Signal, Conditioning ส่วนอุปกรณ์ของซอฟต์แวร์ PC ตามรูปประกอบที่ 2.21

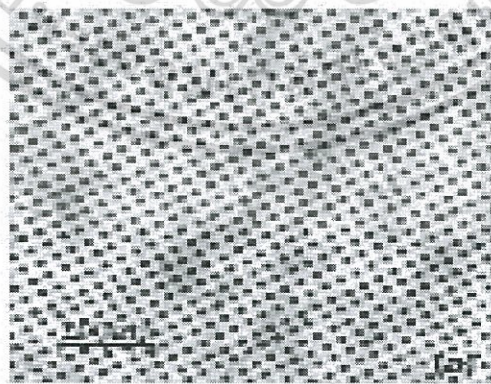
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของระบบ DAQ

สัญญาณที่เราจะวัดอาจเป็นสัญญาณอนาล็อก (+หรือ-10V หรือ 4-20 mA.) หรือสัญญาณดิจิทัลหรืออาจมาจากเซ็นเซอร์ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะถูกต่อสายเข้าไปในส่วนฮาร์ดแวร์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า Signal conditioning ซึ่งจะทำหน้าที่ในการปรับปรุงสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะวัดด้วยฮาร์ดแวร์ DAQ ต่อไปเช่นถ้ามีสัญญาณมีขนาดเล็กเกินไปก็ต้องขยายให้ใหญ่ขึ้นหรือสัญญาณเข้ามาใหญ่เกินไปก็ต้องลดทอนสัญญาณให้เล็กลงเป็นต้น(ถ้าสัญญาณมีลักษณะเหมาะสมแล้วเราก็ไม่จำเป็นต้องนำ Signal conditioning มาใช้ทุกครั้งเสมอไป) สำหรับฮาร์ดแวร์ DAQ แบบพื้นฐานจะสามารถวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง +หรือ-10V เท่านั้นซึ่งฮาร์ดแวร์นี้จะถูกติดตั้งบน PC ที่มีไดรฟ์เวอร์และมีแอปพลิเคชันที่เขียนด้วยซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาระบบเช่น LABVIEW[7]

2.6 Hole บนแผ่น Platter media



รูปที่ 2.22 แสดงอัตราส่วนระยะห่างระหว่างท่อนานโนโทเทเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.22 แสดงอัตราส่วนของ hole บนแผ่น platter จากอัตราส่วนตามรูปภาพที่ขนาดพื้นที่ 200 nm จะมี hole อยู่จำนวน 5 hole ซึ่งจากข้อมูลนี้สามารถนำมาหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของ hole แต่ละจุดได้ ซึ่งจะทำให้เราสามารถนำค่าที่ได้มาประมาณค่าของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับฮาร์ดดิสก์ได้ โดยเราสามารถหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้จากการเทียบสัดส่วนจากสเกลตามรูปภาพ โดยจากรูปภาพ ที่ขนาดความยาว 200 nm มี hole เกิดขึ้นจำนวน 5 hole เมื่อเราทำการวิเคราะห์ค่าตามสเกลโดยอาศัยการประมาณค่า จะได้ค่าของช่องว่างระหว่าง hole แต่ละ hole เท่ากับ 40 nm จากข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการประมาณขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางตามสเกลที่ได้จากรูปจะสามารถบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณที่เหมาะสมกับการนำมาใช้อ้างอิงการศึกษาการสังเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้เป็นบิตแม่แบบในฮาร์ดดิสก์ได้ เพื่อให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกับการนำมาประยุกต์ใช้งานจริงมากที่สุด [8]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์โดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแบบจุ่มเพื่อศึกษาปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อลักษณะสัญญาณของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

3.1 กำหนดการและระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 แสดงกำหนดการและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยทั้งหมดจนแล้วเสร็จ

3.2 ผลที่คาดว่าจะได้รับการทำโครงการพิเศษ

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการออกแบบ และ ส่วนของการทดลอง

3.2.1 ส่วนของการออกแบบ

1. ส่วน Hardware จะออกแบบเพื่อความเสถียรและความสะดวกในการทดลอง โดยทำฝาครอบบีกเกอร์เพื่อให้บีกเกอร์เป็นระบบปิดและมีแท่งของปากจระเข้ 2 แท่งเพื่อความสะดวกในการหนีบชิ้นงานและกำหนดระยะห่างระหว่างกันไว้คงที่ เพื่อทำให้การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองมีความเสถียร

2. ส่วนของ Software เลือกใช้โปรแกรม Labview ในการรับค่าจากกระแสจากเครื่อง Daq Multimeter และบันทึกค่ากระแสจากการทดลอง ในเวลาต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ แทนการนั่งจดบันทึกค่าเอง

3.2.2 ส่วนของการทดลอง

การเพิ่มความจุของ Hard Disk Drive โดยสร้าง pattern ให้กับตัวจานแม่เหล็ก ซึ่ง Bit ปกติจะเรียงต่อกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งทำให้ใช้พื้นที่เยอะ จึงทำให้ความจุน้อย เราจึงทำการสร้าง Template เพื่อใช้สำหรับกำหนดรูปร่างของสารที่ใช้เคลือบให้เป็นระเบียบเพื่อลดพื้นที่ในการเรียงตัวลง ซึ่งจะทำให้ Hard Disk Drive มีความจุเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

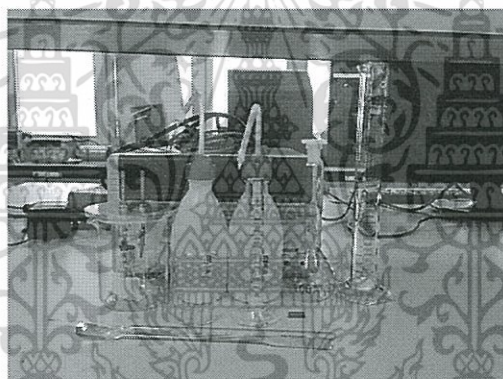
3.3 เครื่องมือ/เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำวิจัย

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

1. บีกเกอร์ขนาด 250 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บีกเกอร์ขนาด 50 ml
3. ขวดแก้วรูปชมพูนขนาด
4. กระจกตวง 10 ml
5. กระจกตวง 100 ml
6. ขวดบีบน้ำ 2 ขวด
7. แท่งแก้วคนสาร
8. ซ้อนตักสาร
9. Power supply
10. ปากจระเข้
11. แท่งแกรไฟต์
12. แผ่นไทเทเนียม



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. Ethylene glycol
2. Acetone
3. Ammonium Fluoride
4. De-ionized Water

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำวิจัย

1. DAQ Multimeter
2. โปรแกรม Labview
3. โปรแกรม Solidwork



รูปที่ 3.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำวิจัย

3.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัย

1. Scanning Electron Microscope (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน)
2. Atomic Force Microscope(กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม)

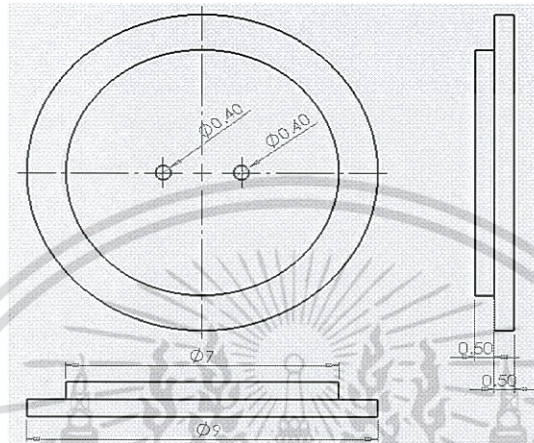
3.4 หลักการและวิธีการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ทำการออกแบบฝาครอบปีกเกียร์

1. ทำการวัดขนาดของปีกเกียร์ เพื่อทำการกำหนดขนาดต่างๆ
2. ทำการออกแบบและจำลองภาพชิ้นงานในรูปแบบ 3 มิติ จากขนาดที่วัดจริงโดยใช้

โปรแกรม Solidwork

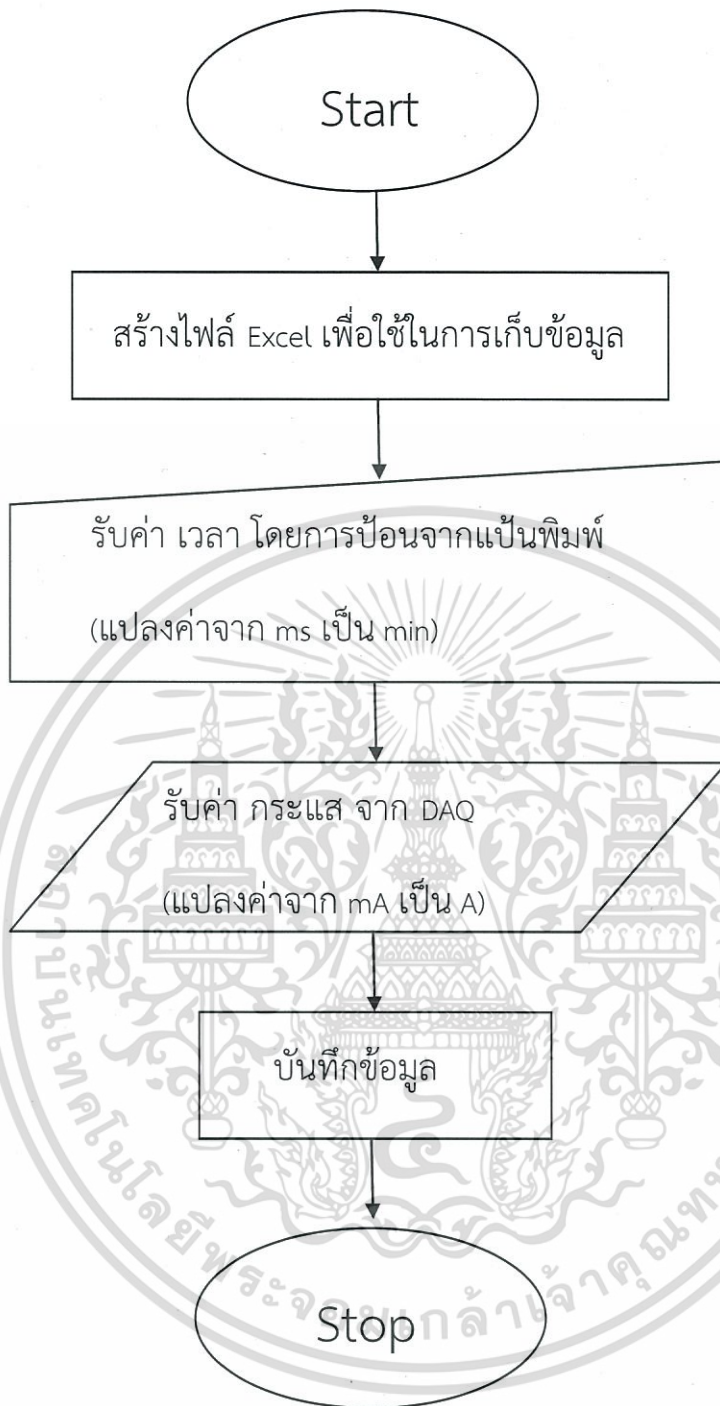


รูปที่ 3.4 แบบร่างหน้าตาของฝาครอบปีกเกียร์

3.4.2 ทำการออกแบบและสร้างโปรแกรมสำหรับอ่านและบันทึกค่ากระแส

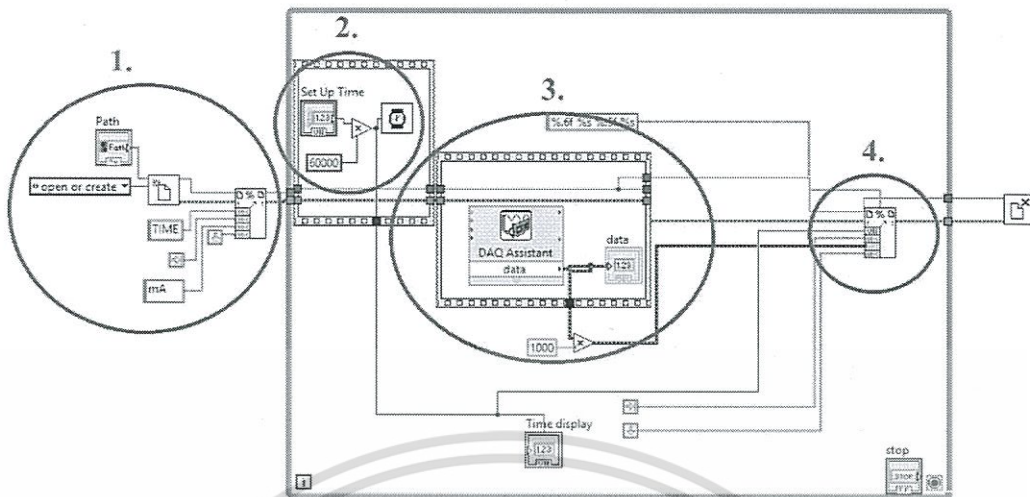
1. ออกแบบแผนผังความคิด (flow chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังความคิด (flow chart) การออกแบบและสร้างโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 หลักการทำงานของโปรแกรม

2. เขียนโปรแกรมบันทึกค่ากระแสโดยใช้โปรแกรม Labview

หลักการการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.6 ดังนี้

- วงกลมที่ 1. ส่วนของการเลือกโพลเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูล/สร้างไฟล์เพื่อเก็บข้อมูล ในส่วนของ TIME จะเป็นการกำหนดว่าจะป็นช่องที่ใช้บันทึก เวลาในส่วนของ mA จะเป็นการกำหนดว่าจะป็นช่องที่ใช้บันทึกค่ากระแส

- วงกลมที่ 2. ส่วนของการกำหนดค่า เวลา จากแป้นพิมพ์ซึ่งเวลาในที่นี้จะบ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างการบันทึกค่าในแต่ละครั้ง โดยในการบันทึกค่าเราจะทำการแปลงหน่วยจาก มิลลิวินาที เป็น นาที

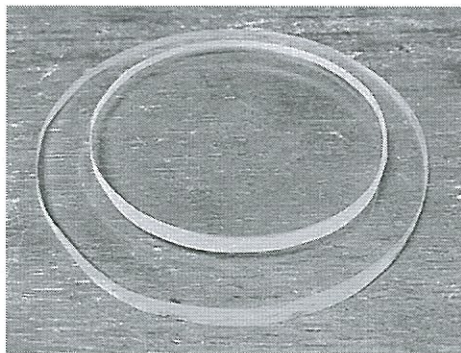
- วงกลมที่ 3. ส่วนของการรับค่ากระแสที่วัดได้ จากเครื่อง DAQMultimeterเราจะทำการดึงเอาข้อมูลของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละเวลามาแสดงค่าและเตรียมทำการบันทึกต่อไป โดยเราจะต้องทำการแปลงหน่วยของกระแส จาก แอมป์ เป็น มิลลิแอมป์

- วงกลมที่ 4. ส่วนของการบันทึกค่าเราจะทำการนำข้อมูลที่ได้รับจากเครื่อง DAQ Multimeter มาทำการบันทึกลงในไฟล์และโพลเตอร์ ตามที่ถูกระบุไว้ในวงกลมที่ 1 และเราสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ต่อไปได้

3.4.3. สร้างฝากรอบปีกเกอร์ตามแบบที่ทำการออกแบบไว้

1. สร้างส่วนของฝากรอบปีกเกอร์และทำการเจาะรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ฝาครอบ

2. สร้างส่วนของด้ามจับชิ้นงานจากน็อตตัวผู้ขนาด 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 ด้ามจับชิ้นงาน

3. นำด้ามจับชิ้นงานมาประกอบเข้ากับฝาครอบจะได้ฝาครอบปีกเกียร์ออกมา



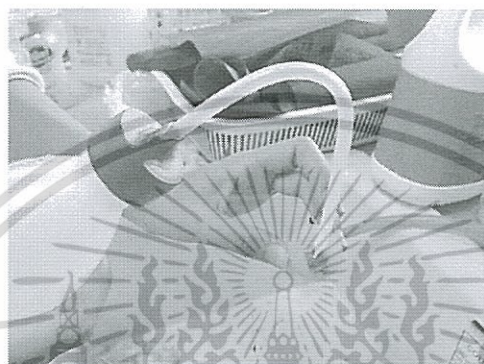
รูปที่ 3.9 ชิ้นงานหลังประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 วิธีการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์โดยวิธีการอโนไดเซชัน

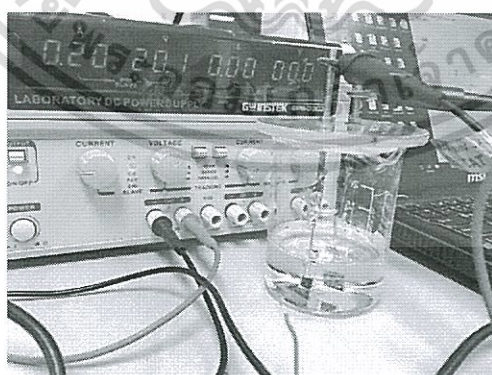
การสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์โดยวิธีการอโนไดเซชันที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 20, 25 และ 30 โวลต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยอะซิโตน แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเพื่อกำจัดชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ จากนั้นทำการเป่าให้แห้ง



รูปที่ 3.10 ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยอะซิโตน

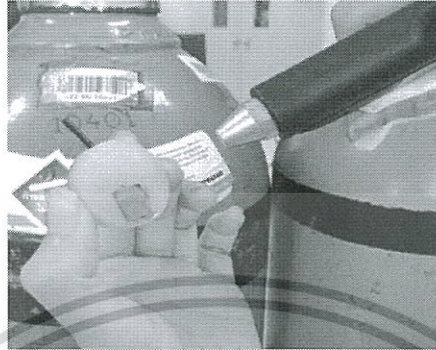
2. ทำการอโนไดซ์ชิ้นงานโดยให้ไทเทเนียมต่อเข้ากับขั้วบวก (Anode) และต่อแกรไฟต์เข้ากับขั้วลบ (Cathode) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 20, 25 และ 30 โวลต์ ตามลำดับ แล้วแช่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีอัตราส่วนต่างๆกัน



รูปที่ 3.11 การต่อวงจรเพื่อทำอโนไดซ์ชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำชิ้นงานออกจากบีกเกอร์แล้วทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนฟแล้วทำการเป่าให้แห้ง



รูปที่ 3.12 ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำเปล่า

3.4.5 นำชิ้นงานไปตรวจสอบการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

โดยเครื่องมือที่ใช้ทำการตรวจสอบมี 2 ประเภทดังนี้

- 1.Scanning ElectronMicroscopy (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน)
- 2.Atomic Force Microscope (กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม)
- 3.Field Emission Scanning Electron Microscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาและวิจัยการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยวิธีการอินโดซ์เซชัน สำหรับใช้เป็นขั้วแม่แบบ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะสัณฐานของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่เกิดขึ้น ซึ่งได้ทำการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลอง

4.1 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองโดยใช้เวลา 105 นาที

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากทำอินโดซ์เซชันโดยการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้า 20, 25 และ 30 โวลต์ ให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยชิ้นงานคือแผ่นไทเทเนียมอยู่ที่ขั้วบวกกระทำตัวเป็นขั้วแอโนด และ แท่งแกรไฟต์อยู่ที่ขั้วลบกระทำตัวเป็นขั้วแคโทด

4.1.1 ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์

จากกราฟรูปที่ 4.1 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เวลาเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 97.83 mA และ ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ -0.37929 mA ที่เวลา 32 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

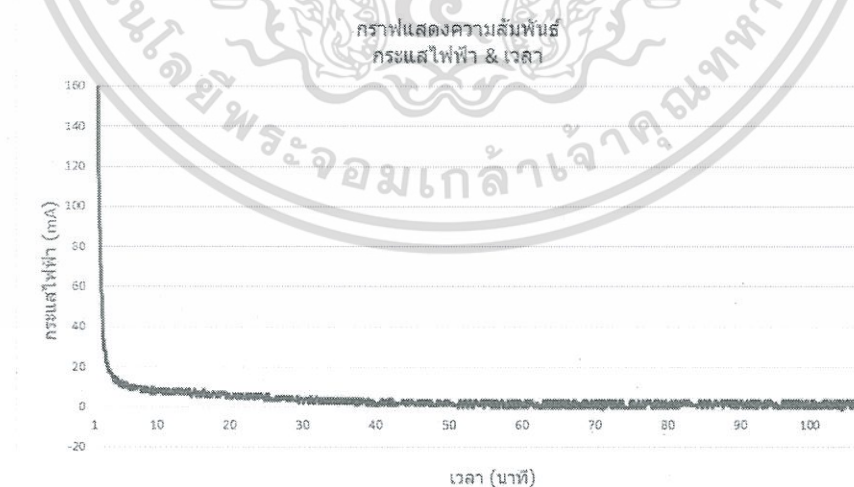
4.1.2 ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์

จากกราฟรูปที่ 4.2 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เวลาเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 122.38 mA และค่ากระแสไฟฟ้าต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ -0.37929 mA ที่เวลา 43 นาที

4.1.3 ค่าความต่างศักย์ที่ 30 โวลต์



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ค่าความต่างศักย์ที่ 30 โวลต์

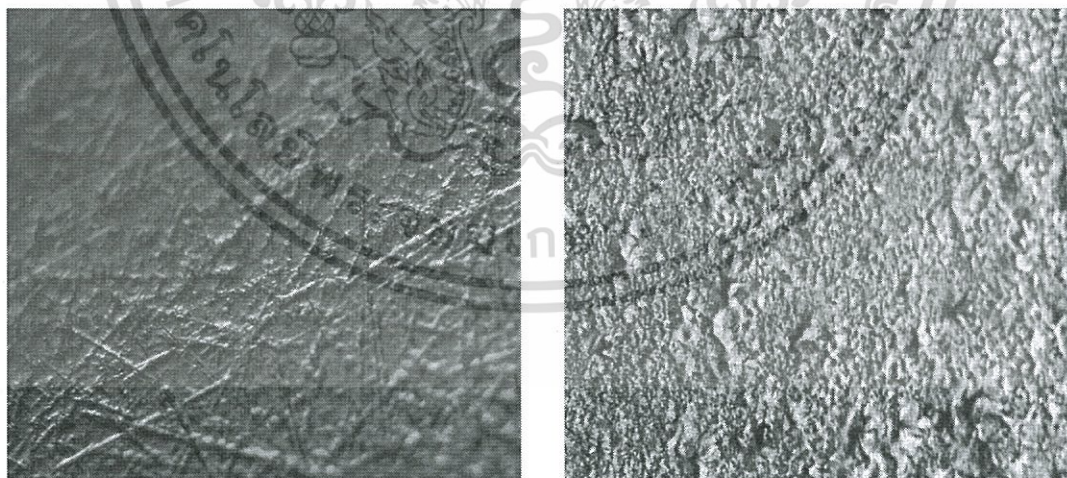
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.3 จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เวลาเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 184.88 mA และค่ากระแสไฟฟ้าต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ -0.37929 mA ที่เวลา 50 นาที จากการทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเทียบกับเวลาในการทำการอโนไดซ์เซชันแล้วจะพบว่าที่วินาทีแรกของการทำงานกระแสไฟฟ้าที่ขึ้นงานได้รับจากแหล่งจ่ายนั้นจะมีค่าสูงมาก คือ 97.83 mA ,122.38 mA และ 184.88 mA ตามลำดับ และหลังจากเวลาผ่านไปเพียงไม่กี่นาทีที่ค่ากระแสนั้นก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องจนกระทั่งถึงจุดจุดหนึ่งที่กระแสไฟฟ้านั้นมีการขยับเพิ่มสูงขึ้นและลดลงสลับกันไปเป็นคลื่นเราจะสามารถบอกได้ว่าที่จุดที่กระแสไฟฟ้าลดลงและขยับเพิ่มขึ้นนี้เองจะเป็นจุดที่มีโอกาสที่จะเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน

4.2 พื้นผิวของชิ้นงานก่อนและหลังอโนไดซ์ด้วยกล้องไมโครสโคป

เนื่องจากพื้นผิวดั้งเดิมของแผ่นไทเทเนียมที่จะใช้ในการอโนไดซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 20, 25 และ 30 โวลต์ที่มีผลต่อลักษณะการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จึงนำชิ้นงานมาส่องเพื่อดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องไมโครสโคปที่กำลังขยาย 100 เท่า ก่อนการทำอโนไดซ์เพื่อทำการตรวจสอบความเรียบบนผิวชิ้นงานและตรวจสอบพื้นผิวของชิ้นงานหลังการทำอโนไดซ์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวชิ้นงานก่อนและหลังการทำอโนไดซ์

4.2.1 ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์



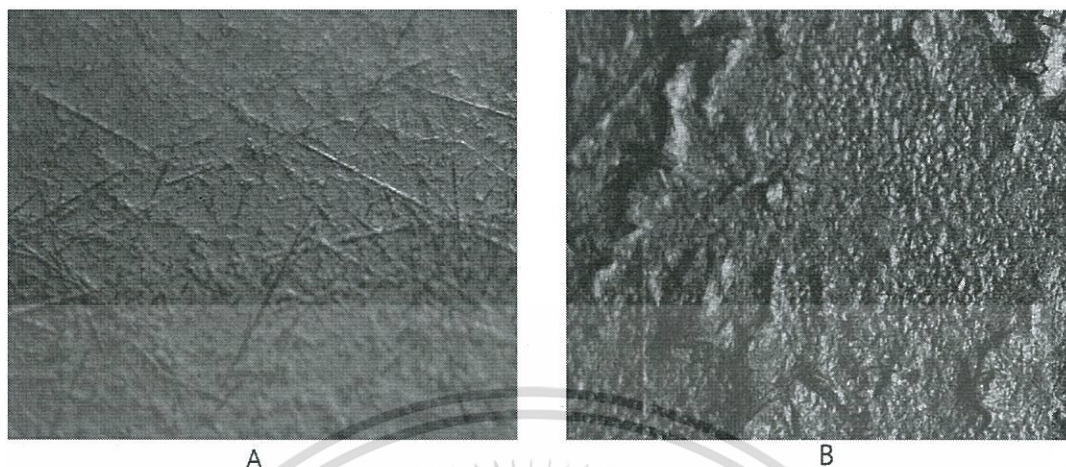
A

B

รูปที่ 4.4 พื้นผิวของชิ้นงานก่อนและหลังอโนไดซ์ของชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์



รูปที่ 4.5 พื้นผิวของชิ้นงานก่อนและหลังอโนไดซ์ของชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์

4.2.3 ค่าความต่างศักย์ที่ 130 โวลต์



รูปที่ 4.6 พื้นผิวของชิ้นงานก่อนและหลังอโนไดซ์ของชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ที่30โวลต์

จากการนำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้องไมโครสโคปจะเห็นได้ว่าลักษณะของพื้นผิวของแผ่นไทเทเนียมมีการเปลี่ยนแปลงไปหลังการทำอโนไดซ์ โดยแผ่นไทเทเนียมก่อนการทำอโนไดซ์จะมีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบและไม่ขรุขระ แต่เมื่อนำแผ่นไทเทเนียมไปทำการอโนไดซ์จะพบว่าแผ่นไทเทเนียมมีพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นและพื้นผิวมีความหยาบ ไม่สม่ำเสมอซึ่งอาจจะเกิดมาจากการทำปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองซึ่งส่งผลให้พื้นผิวของชิ้นงานนั้นแตกต่างไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก็หมายความว่าในขั้นตอนของการเตรียมพื้นผิวของชิ้นงานก่อนทำการทดลองนั้นเป็นสิ่งจำเป็นในการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เนื่องจากถ้าพื้นผิวของชิ้นงานตั้งต้นมีความเรียบมากและไม่ขรุขระเมื่อนำชิ้นงานไปทำการอโนไดซ์แล้วชิ้นงานภายหลังการทำอโนไดซ์นั้นจะยังคงมีความเรียบมากพอที่จะทำให้การจัดเรียงตัวของท่ออยู่ในระดับที่น่าพอใจ ในทางตรงกันข้ามถ้าชิ้นงานตั้งต้นมีพื้นผิวที่ไม่เรียบและขรุขระมาก ภายหลังจากการทำอโนไดซ์ชิ้นงานจะยังคงมีความขรุขระมากยิ่งขึ้น และจะทำให้การจัดเรียงตัวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์และไม่เป็นระเบียบเท่าที่ควร

4.3 ภาพแสดงลักษณะการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM

เนื่องจากท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์นั้นมีระดับที่เล็กมากและไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นในการตรวจสอบผลของการสังเคราะห์ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นจึงต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ในการตรวจสอบลักษณะการเกิดของชิ้นงานที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์, 25 โวลต์ และ 30 โวลต์

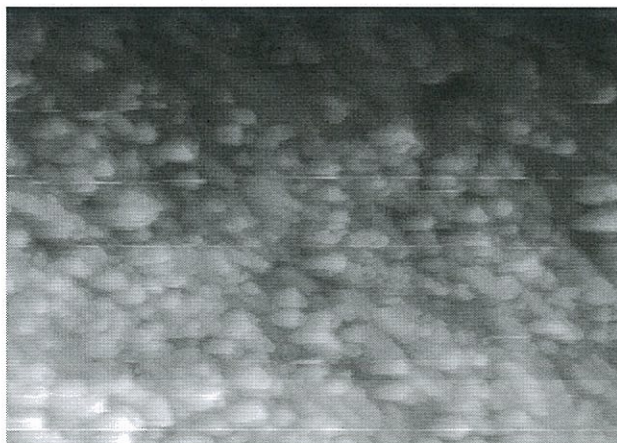
4.3.1 ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์



รูปที่ 4.7 ลักษณะการเกิดท่อนาโน TiO_2 บนพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM ที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์

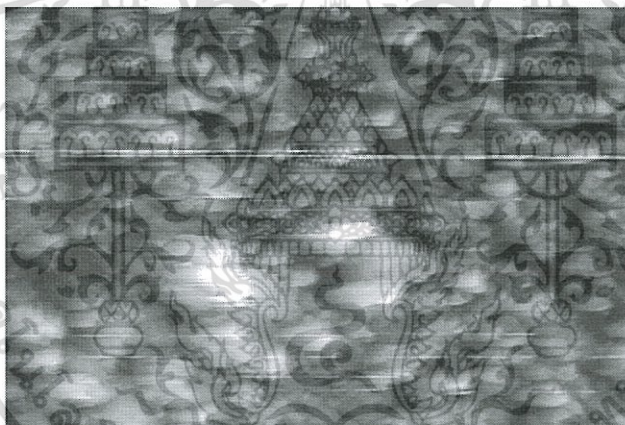
4.3.2 ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ลักษณะการเกิดท่อนาโนTiO₂บนพื้นผิวด้วยเครื่องAFMที่ความต่างศักย์25โวลต์

4.3.3 ค่าความต่างศักย์ที่ 30 โวลต์



รูปที่ 4.9 ลักษณะการเกิดท่อนาโน TiO₂ บนพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM ที่ความต่างศักย์30 โวลต์

จากการนำชิ้นงานไปส่องดูลักษณะการเกิดของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) จากภาพจะเห็นได้ว่ามีส่วนที่มีลักษณะคล้ายท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์ 25 โวลต์ และ 30 โวลต์แสดงว่าชิ้นงานมีการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เกิดขึ้นแต่การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)จะเป็นการส่องบนพื้นผิวของชิ้นงานแบบเบื่องต้นเพื่อจะตรวจสอบว่าชิ้นงานนั้นมีการเกิดขึ้นของท่อนาโนไทเทเนียมได-ออกไซด์ขึ้นจริงก่อนที่จะนำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) อีกครั้งหนึ่งเพื่อวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโน

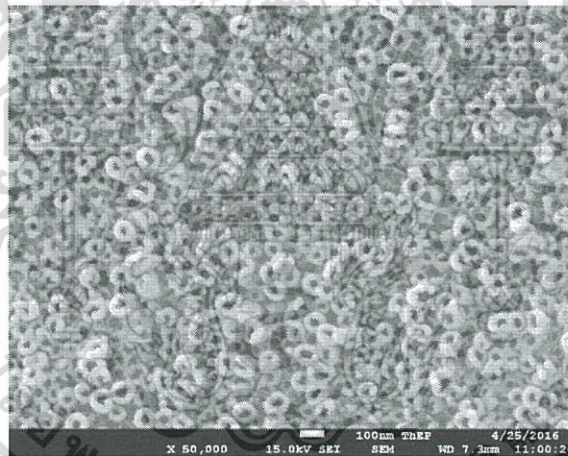
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทเทเนียมที่เกิดขึ้นและวัดขนาดความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ต่อไป

4.4 แสดงภาพการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง FESEM

จากการนำชิ้นงานมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) เพื่อเป็นตรวจสอบเบื้องต้นว่าชิ้นงานเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์หรือไม่ จากภาพที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) จะเห็นได้ว่าการเกิดของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เราจึงนำชิ้นงานมาส่องแบบละเอียดอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เห็นภาพรวมของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ชัดเจนขึ้นด้วยกล้อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) ที่กำลังขยาย 50000 เท่า

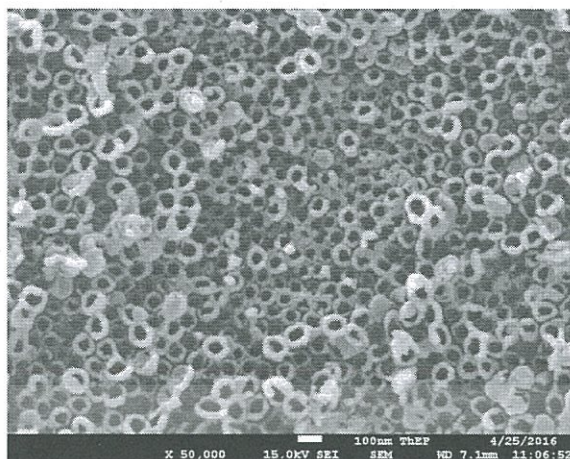
4.4.1 ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์



รูปที่ 4.10 ลักษณะการเกิดท่อไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวด้วย กล้อง FESEM ของชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์

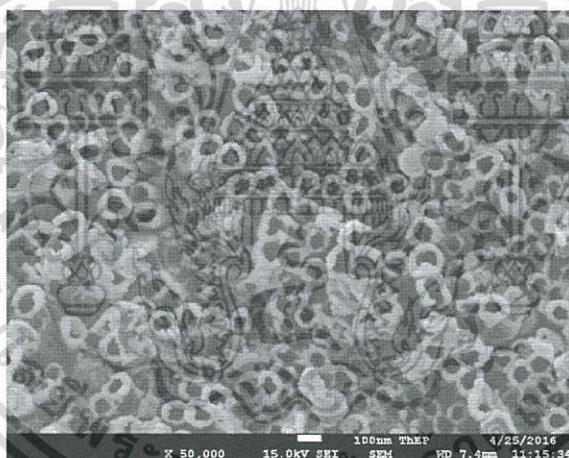
4.4.2 ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ลักษณะการเกิดท่อโทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวด้วยกล้อง FESEM ของชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ 25 โวลต์

4.4.3 ค่าความต่างศักย์ที่ 30 โวลต์



รูปที่ 4.12 ลักษณะการเกิดท่อโทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวด้วยกล้อง FESEM ของชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ 30 โวลต์

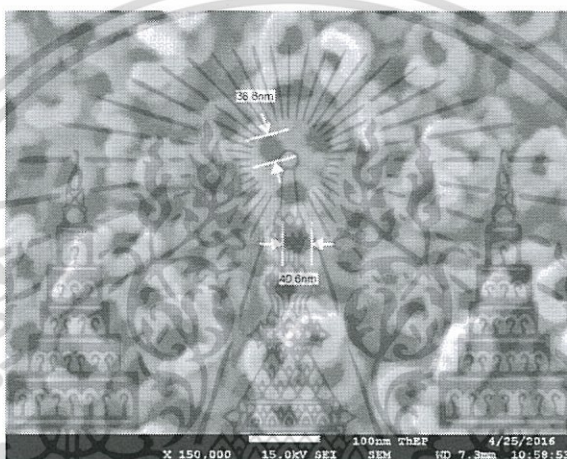
จากการนำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) ที่กำลังขยาย 50000 เท่า จะพบว่าภาพโดยรวมของท่อนาโนโทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้มีความชัดเจนและสามารถมองเห็นลักษณะสัณฐานและการจัดเรียงตัวของท่อนาโนโทเทเนียมได้ชัดเจนกว่าการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อโทเทเนียมไดออกไซด์ของชิ้นงานจากเครื่อง FESEM

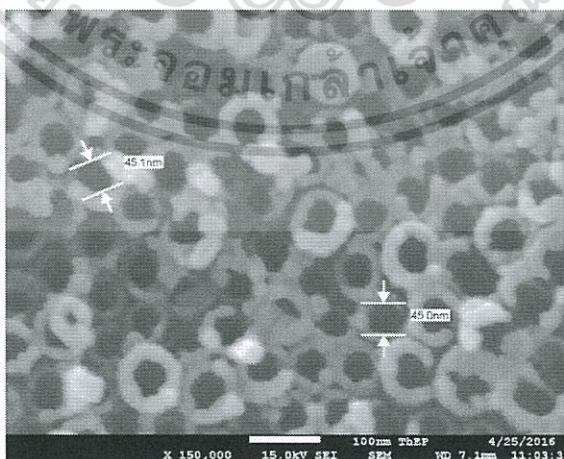
เมื่อเรานำชิ้นงานที่ได้ไปส่องด้วยกล้องกล้อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) ที่กำลังขยาย 50000 เท่า ภาพที่ได้มีความชัดเจนมากและสามารถนำมาวิเคราะห์หาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของท่อที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่ค่าความต่างศักย์ 20 โวลต์, 25 โวลต์ และ 30 โวลต์

4.5.1 ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์



รูปที่ 4.13 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เกิดขึ้นซึ่งค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 30 nm – 40 nm

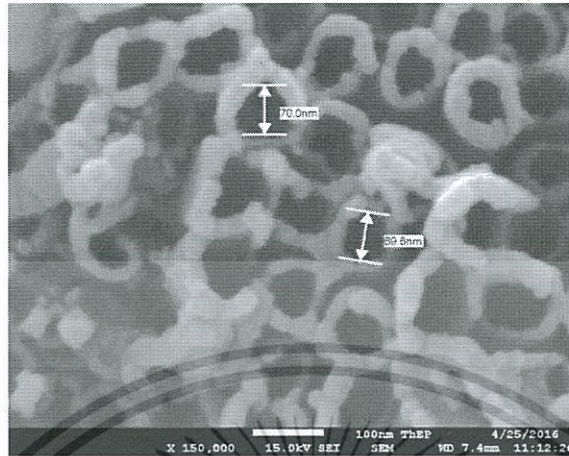
4.5.2 ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์



รูปที่ 4.14 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เกิดขึ้นซึ่งค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 40 nm–50 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ค่าความต่างศักย์ที่ 30 โวลต์



รูปที่ 4.15 เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เกิดขึ้นซึ่งค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 50 nm – 70 nm

4.5.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและเส้นผ่านศูนย์กลาง



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและเส้นผ่านศูนย์กลาง

จากการทำเอโนโดซีโดยใช้ความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์, 25 โวลต์ และ 30 โวลต์ ผลที่ได้คือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นมีขนาดเฉลี่ยคือ 35 nm, 45 nm และ 60 nm ตามลำดับโดยจากผลที่ได้นี้จะเป็นตัวบ่งบอกว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และความหนาของผนังท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์นั้นจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการทำโนโดซ์ซึ่งถ้าเราต้องการให้ท่อนาโนไทเทเนียมมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหรือผนังที่กว้างขึ้นก็จะต้องใช้ค่าความต่างศักย์ที่มากขึ้นตามไปด้วย

4.6 แสดงความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จากเครื่อง SEM

เมื่อเราทราบว่ชิ้นงานมีการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้นจริง เราจะสามารถวัดหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ดังนั้นเราจึงสามารถระบุความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ด้วยเช่นกันโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ในการวัดหาค่าความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

4.6.1 ค่าความต่างศักย์ที่ 20 โวลต์



รูปที่ 4.17 ความยาวของท่อที่เกิดขึ้นซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $1.1 \mu\text{m}$ – $1.4 \mu\text{m}$ ด้วยเครื่อง SEM

4.6.2 ค่าความต่างศักย์ที่ 25 โวลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้